This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

Harvard University

LIBRARY OF THE

CHEMICAL DEPARTMENT

SCIENCE CENTER LIBRARY

HARVARD COLLEGE LIBRARY

BOUGHT FROM THE INCOME OF THE FUND
BEQUEATHED BY
PETER PAUL FRANCIS DEGRAND
(1787-1855)
OF BOSTON

FOR FRENCH WORKS AND PERIODICALS ON THE EXACT SCIENCES
AND ON CHEMISTRY, ASTRONOMY AND OTHER SCIENCES
APPLIED [illegible] AND TO NAVIGATION

Bound
June, 1931

MÉMORIAL

DES

POUDRES ET SALPÊTRES

2

PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS,

QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, 55.

Ce Recueil ne doit pas être communiqué.

MÉMORIAL

DES

POUDRES ET SALPÊTRES

PUBLIÉ PAR LES SOINS

DU SERVICE DES POUDRES ET SALPÊTRES,

AVEC L'APPROBATION

DU MINISTRE DE LA GUERRE.

TOME DEUXIÈME.

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS ET FILS, IMPRIMEURS-LIBRAIRES

DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

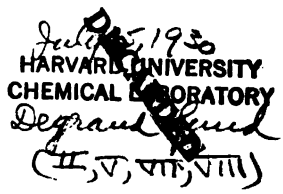
Quai des Grands-Augustins, 55.

—

1884-1889

(Tous droits réservés.)

Sci. 1380.96



SOMMAIRE DU TOME DEUXIÈME.

PREMIÈRE PARTIE. — **Documents techniques.**

		Pages
BERTHELOT ET VIEILLE....	Étude des propriétés explosives du fulminate de mercure.....	3
BERTHELOT ET VIEILLE....	Rapport sur l'étude des propriétés du sulfure d'azote.....	10
H. LAMBERT.....	Rapport sommaire sur l'étude des poudres au picrate d'ammoniaque.	15
VIEILLE.....	Note sur l'hydrocellulose et sur le composé nitré qui en dérive.....	21
COMMISSION DES SUBSTANCES EXPLOSIVES.....	Rapport n° 1 sur les tubes et cordeaux détonants.....	36
COMMISSION DES SUBSTANCES EXPLOSIVES.....	Rapport n° 15. Essais de tubes détonants fabriqués par la poudrerie du Moulin-Blanc. Nouveaux procédés d'amorçage.....	100
MAUROUARD.....	Notice historique sur la poudrerie Philippe-Auguste [Siège de Paris, 1870-1871].....	107
SARRAU ET VIEILLE.....	Étude sur le mode de décomposition de quelques explosifs.....	126
COMMISSION DES SUBSTANCES EXPLOSIVES.....	Rapport n° 3 sur l'emploi du coton-poudre sec pour les opérations de guerre.....	168
COMMISSION DES SUBSTANCES EXPLOSIVES.....	Rapport n° 28. Recherche d'un nouvel explosif pour les usages militaires.	174
	ANNEXE. — Observations faites au département de la marine sur la conservation du coton-poudre comprimé fabriqué par le procédé Abel.....	184
HAGRON ET BRULEY.....	Note sur l'emploi des moules en caoutchouc pour le grenage des poudres.	186
VIEILLE.....	Recherches sur la nitrification du coton.....	212

		Pages.
VIEILLE.....	Note sur la détermination du taux d'azote par le procédé Schlœsing....	225
COUTAGNE.....	De l'emploi des explosifs en agriculture (dynamite, coton-poudre, poudre de mine).....	227
BÉRARD ET LÉAUTÉ.....	Sur les moyens de réduire les accroissements momentanés de vitesse dans les machines munies de régulateurs à action indirecte, application aux usines à poudre.....	242
	Note I. — Sur la mesure expérimentale de la quantité A.....	298
	Note II. — Sur la condition de non-oscillations dans les appareils à fermeture rapide.....	303
	Note III. — Sur le calcul des variations momentanées de vitesse.....	312
BIFFE.....	Rapport sur les procédés actuels de raffinage et de fabrication du salpêtre à la raffinerie de Bordeaux,..	316
LAMBERT ET BARRAL.....	Deuxième note sur la fabrication des poudres à canon à trituration très réduite.....	326
SARRAU ET VIEILLE.....	Note relative à l'influence du rapprochement moléculaire sur l'équilibre chimique de systèmes gazeux homogènes.....	337
BÉRARD.....	Note sur les transmissions par câble télédynamique continu.....	341
LÉAUTÉ.....	Note sur un phénomène mécanique observé à la poudrerie de Saint-Médard.....	346
COMMISSION DES SUBSTANCES EXPLOSIVES, SOUS-COMMISSION SPÉCIALE...	Rapport n° 33. Étude des questions relatives à l'emploi des explosifs en présence du grisou.....	355
	Tableau résumé des expériences faites à la poudrerie de Sevran-Livry, de novembre 1887 à juin 1888	428
MALLARD ET LE CHATELIER.	Note A. — Note théorique sur le calcul des températures de détonation et la force des explosifs.....	442
MALLARD ET LE CHATELIER.	Note B. — Sur la quantité de chaleur qui peut être transformée en travail par la détente adiabatique d'un gaz.	461

		Pages
COMMISSION DES SUBSTANCES EXPLOSIVES, SOUS-COMMISSION SPÉCIALE.....	Rapport supplémentaire sur l'étude des questions relatives à l'emploi des explosifs en présence du grisou....	466
	Tableau résumé des expériences faites à la poudrerie de Sevran-Livry, de juin à octobre 1888.....	507
CAPITAINE JOURNÉE.....	Expériences sur le tir des fusils de chasse.....	519
COMMISSION DES SUBSTANCES EXPLOSIVES....	Comptes rendus des travaux (1883-1888).....	573

DEUXIÈME PARTIE. — **Documents administratifs.**

FRANCE.

N° 12. Circulaire de la société française de tempérance (25 janvier 1882)..... *3

N° 13. Escorte des convois de poudres, de munitions de guerre et de dynamite de l'État, circulant sur les voies de terre (7 mars 1882)..... *5

N° 14. Nouvelle composition des caisses à poudre de chasse (11 avril 1882)..... *6

N° 15. Explosion du 24 janvier 1882 dans un atelier d'encartouchage de Paulilles (9 mai 1882)..... *7

N° 16. Inflammation de charbon du 21 janvier 1881 à Sevran-Livry (31 mai 1882)..... *16

N° 17. Explosion de coton-poudre paraffiné du 24 avril 1881 au Pont-de-Buis (1er juin 1882)..... *18

N° 18. Note sur les poudres à trituration très réduite (2 juin 1882). *22

N° 19. Organisation de collections techniques dans les établissements (4 juin 1882)..... *23

N° 20. Mise en vente des poudres de chasse pyroxylées (30 juin 1882)..... *24

N° 21. Création d'une commission de réception des poudres de la marine (1er juillet 1882)..... *28

N° 22. Explosion du 29 octobre 1881 dans une usine à meules du Ripault (16 juillet 1882)..... *33

N° 23. Explosion du 29 novembre 1881 dans une usine à meules de Vonges (16 juillet 1882)..... *37

N° 24. Explosion du 13 décembre 1881 dans une usine à meules d'Angoulême (17 juillet 1882)..... *41

N° 25. Explosion du 18 février 1882 dans diverses usines de Saint-Chamas (17 juillet 1882)..... *45

Pages.

N° 26. Inflammation de bois pyroxylé du 8 avril 1882 au Moulin-Blanc (18 juillét 1882)..... *53
N° 27. Explosion du 22 avril 1882 dans un grenoir à retour du Ripault (18 juillet 1882)..... *56
N° 28. Mesure des densités gravimétriques des poudres à fusil (11 août 1882)..... *61
N° 29. Explosion du 29 juillet 1882 dans une usine à meules de Vosges (20 août 1882)..... *63
N° 30. Dispositions relatives à la dynamite industrielle (27 août 1882)..... *68
N° 31. Conditions de recette des poudres A $\frac{13}{20}$ (18 septembre 1882). *69
N° 32. Abaissement du prix de vente des poudres de commerce extérieur (12 octobre 1882)..... *70
N° 33. Fabrication des poudres à canon à trituration réduite (26 octobre 1882)..... *78
N° 34. Vente et transport de la dynamite (28 octobre 1882)..... *83
N° 35. Transport de la dynamite par chemins de fer (31 octobre 1882)..... *86
N° 36. Conditions de réception du coton-poudre fabriqué pour la marine (12 décembre 1882)..... *87
N° 37. Fixation annuelle du prix de vente des poudres de commerce extérieur (30 décembre 1882)..... *104

TABLE ANALYTIQUE..... *107
TABLE ALPHABÉTIQUE..... *129

PREMIÈRE PARTIE.

DOCUMENTS TECHNIQUES.

COMMISSION DES SUBSTANCES EXPLOSIVES.

ÉTUDE

DES PROPRIÉTÉS EXPLOSIVES

DU

FULMINATE DE MERCURE;

PAR

M. BERTHELOT,

Sénateur, membre de l'Institut,
Président de la commission des substances explosives,

ET

M. VIEILLE,

Ingénieur des poudres et salpêtres.

1. Le fulminate de mercure est l'un des types les plus parfaits des matières brisantes; il joue le principal rôle dans la fabrication des amorces, comme dans la détonation proprement dite de la poudre-coton et de la dynamite. Au point de vue de la théorie, aussi bien que des applications, son étude présente la plus grande importance. Cependant l'examen scientifique de ses propriétés explosives n'a guère été entrepris jusqu'à présent, soit à cause des dangers que présente le maniement de cette substance, soit en raison de la date toute récente à laquelle les questions théoriques relatives aux nouvelles matières explosives ont été soulevées pour la première fois.

Nous avons déterminé dans nos expériences :

1° La nature des produits de l'explosion du fulminate, nature

qui avait été soupçonnée plutôt que reconnue par des analyses exactes ; elle joue un rôle essentiel dans l'interprétation des effets explosifs de la matière ;

2° La chaleur dégagée pendant l'explosion du fulminate pur ; on en conclut sa chaleur de formation et une certaine mesure de ses effets explosifs ;

3° La densité du fulminate de mercure ;

4° La pression développée pendant l'explosion en vase clos, dans des conditions diverses de volume des capacités enveloppantes, et de contact entre leurs parois et le corps explosifs.

L'ensemble de ces résultats fournit des notions plus précises sur les effets explosifs du fulminate de mercure, et il permet de rendre compte des caractères propres de la détonation de cette substance. Exposons les faits :

2. Le fulminate employé dans les expériences a été extrait des capsules réglementaires usitées dans le service du génie. Ces capsules renferment $1^{gr},5$ de fulminate de mercure et sont fabriquées à l'École d'Arras.

$3^{gr},502$ de ce fulminate, séchés dans une étuve à 50°, ont perdu seulement $0^{gr},002$ en trois heures et demie. Ce fulminate pouvait donc être regardé comme sec.

Il a fourni à l'analyse :

	Expérience.		Théorie ($C^4Az^2Hg^2O^4$).
Hg (1).....	71,30	Hg.....	70,40
CO (2)..... ..	19,40	CO.....	19,75
Az (2).....	9,60	Az.....	9,85
H (3).....	0,04		100,00
	100,34		

Le léger excès de mercure que présentent ces analyses résulte d'un peu de métal libre, mélangé mécaniquement avec le fulmi-

(1) Dosé sous forme de sulfure, après attaque par l'acide chlorhydrique additionné d'un peu de chlorate de potasse.

(2) Déterminé en volume, après explosion en vase clos.

(3) Même remarque. Cet hydrogène est probablement accidentel, c'est-à-dire qu'il paraît provenir des matières grasses employées pour lubrifier les joints du vase.

nate, et que l'on peut manifester en mettant le corps en suspension dans l'acide chlorhydrique.

3. *Gaz dégagés.* — L'explosion du fulminate a été déterminée dans l'intérieur d'une éprouvette d'acier; 3^{gr} de fulminate étant disposés dans une petite cartouche de papier d'étain, suspendue au centre. L'inflammation a lieu en portant à l'incandescence, au moyen d'un courant électrique, un fil métallique fin, qui traverse la cartouche. L'éprouvette avait été remplie à l'avance d'azote pur et sec, sous une pression et à une température rigoureusement connues. Après l'explosion, on a mesuré le volume des gaz produits et l'on en a fait l'analyse exacte. Dans cinq essais, on a obtenu des nombres qui ont varié entre 230^{cc} et 238^{cc}, en moyenne $234^{cc},2$ pour 1^{gr} de fulminate : la théorie indique $235^{cc},8$. Ces gaz renfermaient sur 100^{vol} :

$CyH + CO^2$.....	0,15	
CO.....	65,70	Rapport : 2,04.
Az.....	32,26	
H.....	1,87	(1)

Il résulte de ces données que le fulminate se décompose suivant une réaction très simple, en oxyde de carbone, azote et mercure :

$$C^4Az^2Hg^2O^4 = 2C^2O^2 + Az^2 + Hg^2.$$

$1^{éq}(284^{gr})$ fournit $66^{lit},7$ de gaz (à 0^o et 760^{mm}). D'après cette relation, la détonation du fulminate ne produit aucun composé susceptible d'une dissociation notable (2) dans les conditions des expériences; par suite, aucune combinaison graduelle, susceptible de modérer la détente des gaz et de diminuer la violence du choc initial, ne peut avoir lieu pendant la période du refroidissement : ce qui explique la brusquerie de l'explosion. Elle serait plus brusque encore, si la condensation de la vapeur du mercure ne venait, vers la fin du refroidissement, apporter quelque tempérament. En tous cas, la nature des produits explique le caractère du choc explosif.

---

(1) Accidentel. (Voir plus haut.)

(2) On néglige ici les traces de dissociation que l'oxyde de carbone manifeste au rouge, d'après M. H. Sainte-Claire Deville, et en vertu desquelles il engendre des quantités, à peine perceptibles, de carbone et d'acide carbonique.

4. *Chaleur produite.* — Les expériences précédentes ont été faites en tenant l'éprouvette d'acier plongée dans un calorimètre plein d'eau, de façon à mesurer simultanément la chaleur développée, dans les conditions mêmes de la décomposition analysée. On a trouvé, pour 1^{gr} : $403^{cal},5$ (moyenne de cinq essais concordants); ce nombre doit être accru de $\frac{1}{80}$, pour tenir compte du mercure mécaniquement mélangé (voir plus haut). On a ainsi, pour 284^{gr} : $+116^{cal},0$, à volume constant; ou $+114^{cal},5$, à pression constante. Cette quantité de chaleur serait capable de porter les produits, tous amenés à l'état gazeux, jusque vers 4200°.

5. *Chaleur de formation.* — Il est facile de tirer de là la chaleur de formation du fulminate de mercure, depuis ses éléments :

$$C^4 (\text{diamant}) + Az^2 + O^4 + Hg^2 \text{ liq.}$$
$$= C^4 Az^2 Hg^2 O^2, \text{ absorbe} \ldots\ldots \quad 51,6 - 114,5 = -62,9.$$

Cette quantité est négative, comme on devait s'y attendre. La chaleur dégagée dans la décomposition du fulminate résulte donc de deux causes, savoir la séparation des éléments et la combustion simultanée du carbone par l'oxygène, laquelle produit de l'oxyde de carbone.

Tels sont les résultats obtenus en vase clos et dans une atmosphère d'azote.

Au contact de l'air, ou dans un vase qui renferme ce gaz, il se forme de l'acide carbonique, par suite de la combustion totale ou partielle de l'oxyde de carbone; celle-ci dégage $+136^{cal},4$; ce qui fait en tout $+250^{cal},9$, la combustion étant supposée totale et opérée à pression constante. Mais cette quantité de chaleur supplémentaire n'intervient pas dans les effets du choc initial, parce qu'elle résulte d'une combustion consécutive.

Le contraire a lieu lorsqu'on mélange le fulminate avec du chlorate de potasse, ou avec de l'azotate : ce qui a également pour effet de transformer l'oxyde de carbone en acide carbonique, avec un dégagement de chaleur qui s'élève, à pression constante, à $+258^{cal},2$ avec le chlorate :

$$C^4 Az^2 Hg^2 O^4 + \tfrac{2}{3}(ClO^6K) = 2CO^4 + Az^2 + Hg^2 + \tfrac{2}{3}KCl,$$

et à $+229^{cal},4$ avec l'azotate

$$C^4 Az^2 Hg^2 O^4 + \tfrac{1}{5}(AzO^6K) = \tfrac{1}{5}CO^3K + 3\tfrac{1}{5}CO^2 + 2\tfrac{1}{5}Az + Hg^2.$$

Le dégagement de chaleur est alors double de celui que produit le fulminate pur; mais le choc initial est tempéré ici par des phénomènes de dissociation, dus à l'acide carbonique, et qui rendent ces poudres mélangées moins brusques dans leurs effets. La température développée est réduite en outre par la répartition de la chaleur entre des masses de produits plus considérables.

6. *Densité.* — L'évaluation des pressions exercées au contact par le fulminate exigeant la connaissance de sa densité, nous l'avons mesurée et trouvée égale à 4,42.

7. *Tensions développées en vase clos.* — Les pressions développées ont été mesurées dans une éprouvette spéciale avec les manomètres à écrasement, dits *crushers,* que l'artillerie de marine française met en œuvre pour la mesure des pressions dans l'intérieur des bouches à feu. Pour éviter toute action locale au contact du métal, la charge a été suspendue au milieu de l'éprouvette, sous la forme d'une cartouche cylindrique, de figure semblable à la capacité intérieure. Un fil de fer fin, susceptible d'être porté au rouge par l'électricité, traverse la cartouche.

Voici les résultats de nos expériences sur le fulminate de mercure (1) :

DENSITÉ du chargement.	POIDS du fulminate.	ÉCRASEMENTS observés.	PRESSION en kilogrammes par centimètre carré	OBSERVATIONS.
	gr	mm		
0,1	2,43	0,50	679	Piston 1^{cm}.
0,2	4,86	2,40	1183	id.
0,3	7,39	4,60	1771	id.
0,4	9,72	3,20	2794	Piston $\frac{1}{2}^{cm}$.

Dans la dernière expérience, le piston inférieur a été trouvé cassé en trois morceaux, sans qu'il y ait eu cependant fuite des gaz. En même temps l'obturateur de cuivre s'était écoulé sous

(1) Les pressions sont déduites des écrasements ε observés par la formule $P = 541^{kg}\varepsilon + 535\frac{\varepsilon}{2}$ applicable aux explosifs brisants. (Voir 1, 356, l'*Étude sur l'emploi des manomètres à écrasement,* par MM. Sarrau et Vieille.)

forme de feuille mince, dans l'intervalle annulaire de $\frac{1}{100}$ de millimètre existant entre le piston et le canal concentrique. Ces phénomènes sont caractéristiques de la brusquerie de la décomposition par détonation.

Mais, si les actions locales sont plus violentes avec le fulminate qu'avec les matières explosives ordinaires, il ne faudrait pas en conclure que les pressions moyennes, développées sous une densité donnée de chargement, soient plus grandes. Loin de là : la poudre-coton, par exemple, a fourni, dans des conditions comparables aux précédentes, des pressions moyennes à peu près doubles, soit, pour la densité de chargement 0,1 : 942^{kg}; pour 0,2 : 2039^{kg}; pour 0,3 : 3927^{kg}; pour 0,4 : 5430^{kg}.

Le sens de ces relations est d'ailleurs d'accord avec les données concernant les quantités de chaleur et les volumes des gaz produits par les deux explosifs.

8. Ce ne sont, en général, ni le volume des gaz dégagés, ni la quantité de chaleur produite qui impriment au fulminate son caractère propre et ses avantages spécifiques. En effet, il est surpassé, sous ce double rapport, par la plupart des poudres explosives. La pression développée sous une densité de chargement donnée est moindre aussi, comme on vient de le dire, pour le fulminate de mercure que pour la poudre-coton, et à peu près la même que pour la dynamite à 75 pour 100, c'est-à-dire inférieure à la nitroglycérine pure.

La supériorité de puissance du fulminate se manifeste surtout dans les actions exercées au contact, et elle tient à trois causes, savoir : la presque instantanéité de la décomposition de ce corps par simple inflammation ; l'absence presque totale de dissociation des produits ; enfin la grande densité de la matière. En raison de ces conditions, les produits définitifs de la réaction semblent formés tout d'abord, avant que la matière ait eu le temps de prendre un volume notablement supérieur à celui qu'elle occupait dans son état solide primitif. Si donc le fulminate détone dans un récipient, au contact de la paroi même, il développe sur celle-ci, au premier moment, une pression instantanée n'ayant aucun rapport avec la pression moyenne, réglée par la capacité du récipient. Nous avons essayé d'évaluer la pression développée au contact dans ces con-

ditions, en nous appuyant sur ce fait d'expérience, que les courbes représentatives des tensions en vase clos, pour les matières explosives connues, tendent rapidement vers une asymptote. Cela étant admis, le fulminate, sous sa densité absolue de 4,42, développerait au contact une pression de 31000^{kg} par centimètre carré; tandis que la poudre-coton comprimée sous la densitée 1,1, telle qu'elle est employée pour les usages militaires, développerait au contact seulement 15000. Un calcul semblable montre qu'aucune matière explosive connue ne donne au contact une pression instantanée comparable à celle du fulminate. Sans insister plus qu'il ne convient sur ces chiffres, il nous a paru cependant utile de les signaler, parce qu'ils indiquent le sens général des phénomènes.

La supériorité des effets dus au choc explosif du fulminate s'explique par cette circonstance, jointe à l'absence de dissociation : rien ne résiste au contact direct de cet agent.

Dans une expérience, le fulminate avait été déposé sur le fond d'une bombe calorimétrique en acier, la pression moyenne ayant été calculée à l'avance, de façon à ne pas surpasser 50^{atm}. Cependant la cuvette en acier fut emboutie sur toute la surface occupée par la charge, dont les contours se trouvaient imprimés sur le métal.

9. On sait que le fulminate de mercure est éminemment apte à déterminer cette propagation presque instantanée de la déflagration, si distincte de l'inflammation proprement dite, et qui est indispensable pour permettre à la dynamite et à la poudre-coton comprimée de développer toute leur puissance. L'un de nous a donné ailleurs la théorie générale de ces effets caractéristiques, théorie qui rattache à la violence du choc initial la brusquerie des décompositions consécutives, ainsi que la grandeur des pressions exercées au contact pendant le cours de ces décompositions (1). Les faits qui viennent d'être exposés complètent cette théorie et montrent pourquoi le fulminate de mercure est particulièrement propre à provoquer les détonations proprement dites des autres matières explosives.

Paris, 20 mars 1884.

(1) *Sur la force de la poudre*, 2e éd., 1872 : p. 165, 166; 3e éd., 1883 : t. I, p. 90.

COMMISSION DES SUBSTANCES EXPLOSIVES.

RAPPORT

SUR L'ÉTUDE DES

PROPRIÉTÉS DU SULFURE D'AZOTE;

PAR

M. BERTHELOT,

Sénateur, membre de l'Institut,
Président de la commission des substances explosives,

ET

M. VIEILLE,

Ingénieur des poudres et salpêtres.

1. Le sulfure d'azote est un corps explosif solide, jaune, cristallisé, répondant à la formule AzS^2 et à l'équivalent 46. Nous en avons étudié la préparation, la stabilité, la chaleur de détonation, le mode de décomposition et les tensions en vase clos.

2. *Préparation.* — Le sulfure d'azote employé dans les expériences a été préparé par le procédé Fordos et Gelis, c'est-à-dire par l'action d'un courant de gaz ammoniac sur le chlorure de soufre, dissous dans le sulfure de carbone.

On opère sur un litre de sulfure de carbone, renfermant 50^{gr} à 60^{gr} de chlorure de soufre. On fait passer le courant de gaz jusqu'au moment où le précipité est devenu très clair et la dissolution orangée. L'opération est arrêtée et le flacon porté à la température d'ébullition pour dissoudre la totalité du sulfure d'azote

formé. On jette sur un filtre et on lave au sulfure de carbone bouillant le précipité volumineux de chlorhydrate d'ammoniaque. Le liquide ainsi obtenu est distillé au bain-marie et réduit au $\frac{1}{3}$. On fait cristalliser par refroidissement et évaporation spontanée. On obtient ainsi du sulfure d'azote impur, renfermant du soufre et du chlorhydrate d'ammoniaque. On se débarrasse du soufre en lavant par décantation le produit brut avec du sulfure de carbone. Le chlorhydrate d'ammoniaque est enlevé par lavage à l'eau distillée, jusqu'à ce que les eaux ne précipitent plus les sels d'argent.

3. Le sulfure d'azote ainsi obtenu est presque absolument pur. Il a fourni à l'analyse :

	Expérience.	Théorie.
S(1).....	69,64	69,56
Az(2).....	30,41	30,44
H(3).....	0,01	0,00
	100,06	100,00

4. *Stabilité.* — Le sulfure d'azote possède une stabilité très grande, relativement à l'action de l'air, de l'eau et à l'influence du temps. Il se conserve sans altération à l'air sec et humide. Il peut être mouillé et séché à la température de 50° plusieurs fois sans altération appréciable. Le dosage qui précède s'applique à un échantillon qui avait subi ces opérations de séchages répétés.

5. *Sensibilité au choc et à l'échauffement.* — Le sulfure d'azote détone avec violence sous le choc du marteau : toutefois, sa sensibilité est moindre que celle du nitrate de diazobenzol ou du fulminate de mercure.

Par échauffement, il déflagre à partir de 207°, la décomposition est incomparablement plus lente que pour les explosifs qui viennent d'être cités. Cette température de déflagration est voisine de celle de la combustion du soufre à l'air libre.

---

(1) Dosé sous forme de sulfate de baryte. 0gr,435 de matière ont été traités par l'acide azotique fumant. La liqueur limpide a été additionnée de KCl, en quantité suffisante et évaporée à sec. On a repris le précipité par l'eau, précipité par BaCl et obtenu 2,2065 de sulfate de baryte.

(2) Dosé en volume, après explosion en vase clos.

(3) H, sous forme de HS, provenant des traces de AzH^4Cl.

6. *Densité.* — La densité de la substance à 15° a été trouvée de 2,22 par la méthode du flacon.

7. *Chaleur de détonation.* — On a provoqué la décomposition de la matière dans une atmosphère d'azote, en opérant dans une bombe doublée de platine précédemment décrite. La bombe est remplie d'azote pur et sec et le feu est mis par un fil fin, plongeant dans la matière et porté à l'incandescence au moyen d'un courant électrique.

Deux expériences ont donné les nombres suivants :

POIDS de la substance décomposée.	TEMPÉRATURE initiale.	TEMPÉRATURE finale.	EXCÈS.	QUANTITÉ DE CHALEUR par kilogramme.	QUANTITÉ DE CHALEUR par équivalent. (46 gr.)
gr	°	°	°	Cal	
2,997	15,02	15,99	0,967	701,1	»
2,979	15,16	16,12	0,960	700,4	»
			Moyenne.....	700,7....	32Cal,2

8. *Volume des gaz.* — Les gaz ont été recueillis sur le mercure, dans l'appareil mesureur du Dépôt central.

Les résultats d'expérience relatifs aux deux essais précédents sont les suivants :

POIDS de sulfure décomposé.	VOLUME recueilli.	TEMPÉRATURE.	PRESSION barométrique	VOLUME DE GAZ par kilogramme.	VOLUME DE GAZ par équivalent. (46 gr.)
gr	cc	°	mm	lit	
2,997	797,39	16,7	753,8	244,0	»
2,979	784,35	16,1	753,9	242,2	»
			Moyenne....	243,1.....	11l,18

Le volume théorique de l'azote est 242lit,1 par kilogramme.

9. *Analyse des gaz.* — Cette analyse avait pour but de

s'assurer de la pureté du corps soumis aux essais, de façon à pouvoir reconstituer la composition du produit, le mode de décomposition lui-même n'étant pas douteux.

Le gaz, traité par la potasse, a diminué de quatre millièmes, et l'on s'est assuré que le résidu ne contenait pas trace de combustible. C'était de l'azote pur. Le gaz absorbable est de l'hydrogène sulfuré, comme il est facile de le reconnaître par les sels d'argent et de cuivre. Ces traces d'hydrogène doivent être attribuées à la présence d'un peu de chlorhydrate d'ammoniaque, subsistant dans l'échantillon malgré les lavages réitérés du produit brut. Si l'on retranche du volume total les quatre millièmes dus à cette cause, on retombe exactement sur le chiffre théorique.

10. *Équation de décomposition.* — On peut donc admettre l'équation simple

$$AzS^2 = Az + S^2,$$

exprimant la décomposition du sulfure en ses éléments.

11. *Chaleur de formation du sulfure d'azote depuis ses éléments.* — La chaleur de formation du corps est égale à sa chaleur de décomposition changée de signe : elle est donc de $-32^{cal},2$ pour l'équivalent $AzS^2(46^{gr})$.

12. *Tension en vase clos.* — Nous avons complété cette étude par la mesure des pressions développées en vase clos par le sulfure d'azote pour diverses densités de chargement. Ces pressions ont été évaluées au moyen des appareils crushers.

Les résultats sont les suivants, en déduisant les pressions des écrasements ε par la formule $P = 541^{kg} + 535\,\frac{\varepsilon}{2}$ applicable aux explosifs brisants (1). Bombe en acier (capacité réduite à $14^{cc},1$).

Ces pressions sont très voisines de celles que nous avons observées pour le fulminate de mercure, dans les mêmes conditions de chargement. Il y a néanmoins une différence considérable entre l'énergie de ces deux corps considérés comme détonateurs,

(1) Voir 1, 356, l'*Étude sur l'emploi des manomètres à écrasement,* par MM. Sarrau et Vieille.

différence qui tient à la densité moindre du sulfure d'azote et surtout à la durée plus grande de sa décomposition.

DENSITÉ de chargement.	CHARGE.	SECTION du piston.	SULFURE D'AZOTE.		FULMINATE DE MERCURE.
			HAUTEURS restantes des cylindres écrasés.	PRESSIONS en kilogrammes par centimètre carré.	Pressions en kilogrammes par cq.
	gr	cq	mm		
0,1	1,41	$1,\frac{1}{4}$	11,45	639	679
0,2	2,82	$1,\frac{1}{2}$	10,65	1172	1183
0,3	4,23	1	9,10	1584	1771

Paris, 5 mai 1881.

COMMISSION DES SUBSTANCES EXPLOSIVES.

RAPPORT SOMMAIRE

SUR L'ÉTUDE DES

POUDRES AU PICRATE D'AMMONIAQUE;

PAR

M. H. LAMBERT,

Ingénieur en chef des poudres et salpêtres.

Une sous-commission composée de MM. CASTAN, SARRAU et LAMBERT a été chargée de l'étude relative aux poudres au picrate d'ammoniaque, demandée par dépêche ministérielle du 20 janvier 1881.

M. CASTAN ayant fait observer que cette étude était commencée, depuis quelque temps déjà, à la poudrerie du Bouchet, sur les ordres du ministre, pour ce qui concerne la poudre à fusil, la sous-commission a décidé, d'accord avec M. le colonel BRUGÈRE, consulté à ce sujet, que la poudrerie de Sevran-Livry étudierait plus spécialement les poudres à canon, tandis que M. CASTAN continuerait au Bouchet les essais qu'il avait entrepris sur la poudre à fusil.

Le présent rapport concerne les résultats obtenus à la poudrerie de Sevran-Livry.

Dosage. — Le dosage adopté correspond à peu près au dosage théorique et comprend :

Picrate d'ammoniaque.....	43	100
Azotate de potasse.....	57	

Quelques expériences préliminaires sur la sensibilité au choc de cette poudre, à l'état pulvérulent, ont permis de reconnaître qu'elle prenait feu moins facilement que la poudre noire quand on la frappait sur une enclume en fer avec un marteau en fer.

---

§ I.

FABRICATION PAR SIMPLE MÉLANGE.

Le premier procédé de fabrication adopté fut celui qui avait été indiqué par la poudrerie du Bouchet : séchage et pulvérisation du picrate, puis mélange à l'état sec avec le salpêtre au moyen de tamisages répétés 50 fois.

Humectation de 6 pour 100 d'eau; touillage de la matière abandonnée à elle-même pendant plusieurs jours.

Compression préalable sous une pression de 210^{kg} environ par centimètre carré, avec une épaisseur au moulage de 32^{mm}; concassage au maillet, grenage à $2^{mm},5$; deuxième humectation amenant le mélange de grains et de poussier à 7 pour 100 environ pour la deuxième compression faite avec des épaisseurs variables, suivant les grains que l'on veut obtenir; lissage dans une petite tonne pour abattre les angles.

Un premier essai a donné des grains ayant même base que la poudre SP_1 et présentant les caractères physiques ci-après :

	Avant séchage.	Après séchage.
Densités réelles.....	1,825	1,816
Humidités pour 100.....	2,60	1,00
Grains au kilogramme.....	304	298
Épaisseurs.....	$13^{mm},4$	$13^{mm},7$

TIR DANS LE CANON DE 90^{mm}.

CHARGES.	V_{22}.	PRESSIONS (crusher au milieu de la chambre.)	OBSERVATIONS.
kg	m	kg	
0,600	306,3	558	Poudre séchée.
0,800	365,2	991	
1,000	416,5	1500	La poudre C_1 (type Ripault) donne 446^{m}, avec 2374^{kg} de pression.
1,100	441,9	1703	
1,200	465,2	2017	
1,200	464,7	2017	
1,300	483,6	2090	
1,400	507,0	2441	

Un second échantillon a été fait pour examiner l'influence de l'humidité :

	Poudre	
	non séchée.	séchée.
Densités réelles.....	1,785	1,771
Humidités pour 100.....	1,51	1,00
Grains au kilogramme.....	252	263
Épaisseurs.....	13^{mm}	13^{mm},2

TIR DANS LE CANON DE 90^{mm}.

POUDRE.	CHARGES.	V_{22}.	PRESSIONS.
	kg	m	kg
Poudre non séchée.....	0,800	364,0	888
	1,100	440,9	1647
	1,100	441,8	1730
	1,200	461,8	1838
	1,200	462,5	1784
	1,400	502,0	2481
	1,400	506,0	2421
Poudre séchée.....	1,000	425,5	1864
	1,050	437,4	1890
	1,075	445,6	2136
	1,075	447,0	2042
	1,200	474,6	2380

Le même mode de fabrication a donné aussi une poudre cubique dont les grains, ayant la même base que ceux de la poudre A_3, ont fourni dans le canon de 155^{mm} des résultats satisfaisants :

Densité réelle.....	1,823
Humidité pour 100.....	0,80
Grains au kilogramme.....	53
Épaisseur.....	22^{mm},7

TIR DANS LE CANON DE 155^{mm}.

CHARGES.	VITESSES.	PRESSIONS.	OBSERVATIONS.
kg	m	kg	
3,000	333,0	710	La poudre SP_1 (type Ripault) donne 455^{m},8, avec 1992^{kg}.
4,000	393,0	1254	
5,000	448,4	1811	
5,100	447,3	1838	
5,250	464,3	1967	
5,250	460,4	1784	
5,600	477,9	2136	
5,900	489,5	2251	

§ II.

FABRICATION PAR LES MEULES.

On examina aussi l'influence du mode de mélange des matières et l'on compara, aux poudres dont les éléments étaient simplement mélangés à l'état pulvérulent, des poudres qui avaient été triturées aux meules comme les poudres de guerre actuelles.

Les résultats sont consignés dans le tableau ci-après :

DÉSIGNATION des échantillons.	DENSITÉS.	EAU pour 100.	GRAINS au kilogram.	ÉPAISSEURS.	CHARGES.	V_{25}.	PRESSIONS
					kg	m	kg
CANON DE 90mm.							
Échantillon A, non trituré aux meules.	1,787	0,40	253	mm 13,7	0,800	379,5	1157
					1,000	430,5	1942
					1,050	438,1	2042
Échantillon B, trituré aux meules.....	1,853	0,80	275	13,2	0,900	386,7	1091
					1,100	429,8	1440
					1,200	448,3	1560
Échantillon A.	"	1,00	"	"	1,100	453,3	2251(1)
Échantillon B.	"	1,10	"	"	1,100	426,3	1379(1)
					1,200	449,3	1530(1)
Échantillon D, trituré aux meules.....	1,850	1,00	277	12,7	1,000	411,1	1286
					1,200	461,6	1864
					1,150	449,7	1675
CANON DE 90mm, AVEC CRUSHER SUR LA TÊTE MOBILE.							
					kg	m	kg
Échantillon D.	"	"	"	"	1,100	437,2	1379
					1,125	442,0	1560
					1,150	451,7	1560

(1) Influence de l'humidité.

Dans les canons de 90mm et de 155mm les résultats obtenus paraissent donc satisfaisants.

On n'a pas réussi jusqu'ici à en obtenir d'analogues dans les canons de plus gros calibres, comme le 24cm de l'artillerie de marine.

Dans ce dernier canon, on a constaté une répartition singulière des pressions sur les différents crushers :

Poudre triturée aux meules; grains de $\frac{50}{50}$.

Densité réelle.....	1,871
Humidité pour 100.....	1,18
Grains au kilogramme.....	5
Épaisseur.....	49mm,5

TIR DANS LE CANON DE 24cm, mod. 1870. M.

CHARGE.	V_6.	PRESSIONS		
		Crusher de culasse.	n° 1.	n° 2.
15kg,000	425m,5	2757kg	2017kg	2113kg

Les poudres au picrate de potasse, essayées dans les canons ci-dessus, se sont également montrées très brisantes.

§ III.

Conclusions.

En résumé, on peut conclure de cette première partie des essais qu'il paraît possible, avec les poudres au picrate d'ammoniaque, de réaliser dans les canons de 90mm et de 155mm des vitesses égales ou supérieures aux vitesses réglementaires avec des charges et des pressions inférieures à celles de la poudre noire.

Quelques essais faits sur l'hygrométricité des poudres au picrate ont montré que ces poudres étaient beaucoup plus sensibles à l'humidité que la poudre noire.

Enfin, on a également essayé de produire des échantillons de poudres pour le fusil modèle 1874, au moyen des poudres triturées aux meules.

Ces poudres, plus denses, moins séchées que celles du Bouchet, semblent donner des vitesses régulières, mais inférieures à celles auxquelles M. Castan est arrivé; ainsi la vitesse de 430m est réalisée avec une charge de 2gr,85 environ et du grain de 0mm,8 à 1mm,2, contenant 1 pour 100 d'humidité; avec le grain de 2mm à 2mm,4, il faudrait une charge de 3gr,35; dans ces conditions, et sans autre précaution spéciale que de remplir de ouate le vide laissé dans la cartouche, on obtient des vitesses plus régulières que celles de la poudre F, et un groupement très remarquable des balles sur la plaque, à 50m, de l'appareil Le Boulengé.

Paris, 2 mars 1882.

NOTE
SUR L'HYDROCELLULOSE
ET SUR
LE COMPOSÉ NITRÉ QUI EN DÉRIVE;

PAR

M. VIEILLE,

Ingénieur des poudres et salpêtres.

I. — Hydrocellulose.

Préparation. — M. Aimé Girard a fait connaître, par une note insérée dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences* (1), une modification de la cellulose obtenue par l'action ménagée de l'acide sulfurique sur le coton.

La cellulose fixe, d'après M. Aimé Girard, $1^{éq}$ d'eau et se transforme en une matière $(C^{12}H^{11}O^{11})^n$, à laquelle il a donné le nom d'*hydrocellulose*, identique comme aspect au coton dont elle dérive, mais excessivement friable et susceptible, sous l'action du pilon, d'être réduite en parcelles d'une ténuité extrême.

Tout récemment M. Aimé Girard a fait connaître un autre procédé de préparation qui consiste à soumettre le coton à l'action de l'acide chlorhydrique, soit à l'état gazeux, soit à l'état de dissolution.

Les deux procédés ont été successivement employés et de la manière suivante :

(1) *Compt. rend.*, 6 décembre 1875.

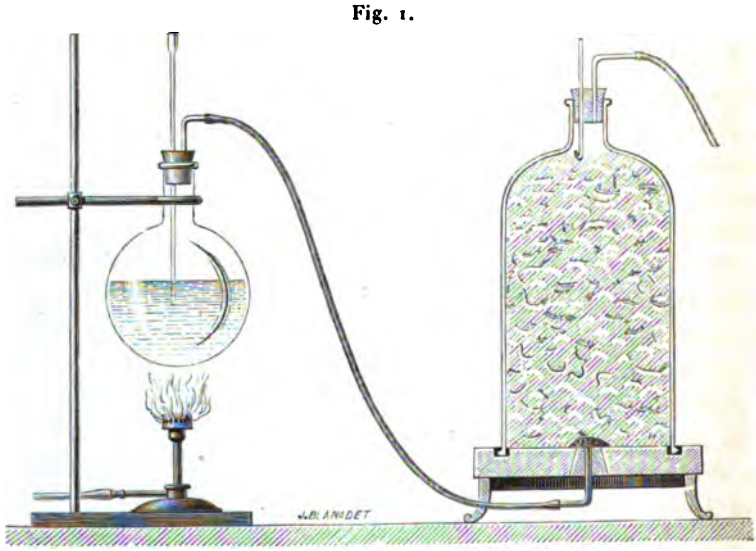
PREMIÈRE MÉTHODE.

Gaz chlorhydrique. — Une cloche tubulée, de 12[lit] environ, reçoit 500[gr] de coton en ouate. Cette cloche repose dans une rigole annulaire pratiquée dans un disque en plâtre où l'on verse un peu de mercure. Le disque est percé d'un trou en son centre, qui reçoit un bouchon de caoutchouc et un tube par lequel arrive le courant d'acide chlorhydrique. Un petit têt en plomb empêche l'obstruction du tube par le coton; le gaz pénètre peu à peu la masse, et la cloche se recouvre d'une légère buée sur toute la partie imprégnée d'acide. On est, d'ailleurs, averti de l'imbibition complète par le dégagement du gaz à la partie supérieure.

Certains échantillons de coton prennent une légère teinte rosée, qui permet de suivre la marche de l'acide dans la cloche.

On continue le dégagement jusqu'au moment où un échantillon,

Fig. 1.



prélevé à la partie supérieure de la cloche, s'écrase instantanément par le frottement des doigts.

L'opération dure une heure environ; elle peut être abrégée en mettant en relation le tube de dégagement de la cloche avec un aspirateur. L'air rentre alors dans le ballon producteur d'acide chlorhydrique par le tube de sûreté, en se desséchant au contact de

l'acide sulfurique, et le mélange de cet air avec l'acide chlorhydrique pénètre rapidement toute la masse de coton.

On évite ainsi une action trop prolongée du gaz sur les couches inférieures du coton, qui peut se traduire par un commencement d'attaque de la cellulose qui noircit légèrement.

La cloche est retirée de dessus son support et plongée rapidement par sa partie inférieure dans une terrine remplie d'eau.

On pousse, au moyen d'une baguette, la masse de coton par la tubulure supérieure, et le noyage s'effectue ainsi sans aucun dégagement acide, pénible pour l'opérateur.

L'eau de ce premier noyage est rapidement décantée et remplacée par de l'eau pure.

Lorsqu'on cherche à substituer au coton en ouate le coton filé provenant des déchets de filature, celui-là même qui est employé pour la fabrication du coton-poudre, on constate que l'action est beaucoup plus lente. Il faut abandonner quelques heures le coton acide à lui-même pour obtenir la désagrégation complète.

L'action d'une température de 40° environ favorise d'ailleurs beaucoup la réaction.

Il est à remarquer qu'il suffit que le coton soit faiblement imbibé de gaz chlorhydrique pour que, en l'abandonnant à lui-même, voire même à l'air libre, l'action se continue jusqu'à transformation complète.

De là résulte un procédé très simple de fabrication en grand de cette matière. Il suffirait de disposer dans une chambre une grande quantité de coton, sur des tablettes en plomb par exemple, et d'y faire arriver un courant de gaz chlorhydrique, de façon à rendre l'atmosphère de la chambre fortement acide : au bout d'un temps très court, la transformation aurait lieu d'une façon complète, et le déchargement pourrait être fait après ventilation énergique et injection d'un jet de vapeur (1).

DEUXIÈME MÉTHODE.

Les inconvénients que nous semblait présenter, au point de vue

(1) M. Aimé Girard a fait connaître postérieurement à cette étude un procédé de préparation de l'hydrocellulose, plus simple encore, consistant à tremper le

pratique, le maniement du coton imbibé d'acide chlorhydrique gazeux, nous ont conduit à recourir à la deuxième méthode de M. Aimé Girard et à l'emploi de l'acide chlorhydrique en dissolution.

Il suffit de tasser dans un grand vase rempli à moitié d'acide chlorhydrique un lot de coton suffisant pour absorber tout l'acide, et de l'abandonner 36 heures ou 48 heures pour obtenir la transformation. On en reconnaît le terme quand une spatule de verre pénètre sans difficulté dans la masse.

L'acide chlorhydrique employé est celui du commerce; il peut être employé pur ou étendu de la moitié de son poids d'eau.

La réaction est un peu moins rapide dans ce dernier cas; mais elle permet d'éviter l'attaque légère du coton qui se produit ici, comme dans le premier procédé, et qui colore l'acide pur fortement en brun.

Dans une préparation en grand, il conviendrait sans doute d'adopter un procédé de trempage analogue à celui du fulmicoton et d'abandonner à lui-même le coton après pressage, pendant un temps variable suivant la température et qu'indiquerait la pratique.

Le coton préparé par ce deuxième procédé est noyé, puis lavé une fois et, enfin, soumis au broyage.

A cet effet, une table carrée, de $0^{m},80$ de côté, reçoit dans une feuillure un cadre sur lequel est tendue une double toile de cuivre, l'une supérieure, très fine, l'autre, au-dessous, beaucoup plus grosse, immédiatement en contact avec la première et servant à la soutenir.

Une trémie en toile forte est disposée au-dessous. Le coton est retiré de l'eau, sous forme de masse pâteuse, placé sur la toile métallique, et, au moyen de deux fortes brosses à poil roide et court, on le fait passer à travers la toile métallique.

L'opération, pour 500^{gr}, se fait en deux ou trois minutes. La poussière de coton, entraînée par un excès d'eau, tombe dans un baquet où elle se rassemble complètement au fond, au bout d'un

---

coton dans l'eau légèrement acidulée par l'acide chlorhydrique ou azotique et à le sécher dans l'étuve. La transformation se produit pendant le séchage (*Compt. rend.*, 23 juin 1879: 88, 1322).

quart d'heure environ : on décante, on renouvelle l'eau, et l'on continue jusqu'à ce que les eaux ne soient plus acides au tournesol.

On filtre alors sur un tamis garni de toile fine, et la matière essorée est étendue en couches minces sur des toiles reposant sur des cadres garnis de toiles métalliques et placés dans une étuve.

La dessiccation à 60° environ est assez longue et dure 72 heures.

Aspect de l'hydrocellulose. — L'hydrocellulose se présente sous forme de poussière impalpable, absolument blanche, quand l'action du gaz chlorhydrique n'a pas été poussée trop loin.

Examinée au microscope, cette poussière se présente sous forme de fragments irréguliers, provenant de la rupture de la lanière aplatie et longue qui constitue la fibre du coton. On reconnaît que les dimensions longitudinales sont généralement au plus égales à la largeur de la lanière.

On conçoit, de suite, quel avantage présente cet état de division au point de vue de la bonne nitrification du coton.

On reconnaît facilement, en particulier, que si l'on assimile la section de la fibre du coton à un rectangle dont l'un des côtés est double de l'autre, ce qui semble assez près de la vérité, la surface d'imbibition par les acides d'une masse de coton est augmentée de $\frac{1}{3}$ par la division dont nous venons de parler. Mais cet avantage peut être pratiquement compensé par les difficultés que présente le trempage dans les acides de matières pulvérulentes.

II. — Hydrocellulose nitrée.

Préparation. — On a suivi la méthode adoptée pour la fabrication du coton-poudre d'Abel (1).

Le mélange sulfonitrique est préparé à l'avance et refroidi : il est formé de 3 parties SO^3HO à 66°, et de 1 partie AzO^5HO à 48°.

On introduit dans un vase cylindrique en verre, pouvant être fermé par un disque de verre rodé, 3^{kg} du mélange acide; on fait

(1) C'est à cette méthode également qu'a eu recours M. Aimé Girard pour la préparation du pyroxyle d'hydrocellulose, dont il a fait connaître la composition au mois de juillet 1879 (*Compt. rend.* 1879 : **89**, 170; — *Ann. Chim. Phys.* 1881 : [5] **24**, 337).

tomber peu à peu dans ce mélange, agité au moyen d'une spatule en verre, 25^{gr} d'hydrocellulose sèche ($\frac{1}{12}$ en poids).

Il n'y a, dans ces conditions, formation d'aucun grumeau. La masse se transforme en une bouillie très claire, d'une teinte légèrement brune.

L'élévation de température ne dépasse pas 15° à 20°, mais elle est presque immédiate, contrairement à ce qui se passe pour le coton ordinaire.

De plus, l'imbibition est beaucoup plus que suffisante avec cette proportion d'acide qui, au contraire, est le minimum que conserve le coton ordinaire, après trempage, même à la suite d'une compression énergique.

Ce mélange de cellulose et d'acide est abandonné pendant 12 ou 13 heures à lui-même, puis on le noie dans 40 fois son poids d'eau, faute de moyens d'extraire l'excès d'acide, comme cela a lieu dans la fabrication du fulmi-coton.

La matière se rassemble et se lave par décantation, exactement comme l'hydrocellulose et avec la même facilité; mais, pour obtenir un produit stable, il convient de pousser les lavages beaucoup plus loin que celui qui assure la neutralité absolue des eaux surnageantes au tournesol.

C'est par des lavages prolongés à l'eau chaude et en présence des carbonates alcalins que l'on arrive à éliminer les acides qui imprègnent le tissu des parcelles de coton.

Rendement. — Le rendement moyen des lots fabriqués a été de 167 pour 100 de cellulose sèche employée.

Le rendement théorique, en partant de la formule $C^{12}H^{11}O^{11}$ pour l'hydrocellulose et admettant pour le produit final celle du fulmi-coton trinitré $C^{12}H^{7}(AzO^{4})^{3}O^{10}$, est 173.

Aspect. — On observe entre l'hydrocellulose et l'hydrocellulose nitrée la même ressemblance qu'entre le fulmi-coton et le coton; on retrouve, au microscope, dans le produit nitré, les mêmes fragments irréguliers, dont nous avons parlé plus haut, et sans modification appréciable.

Ce corps, d'aspect farineux, acquiert, lorsqu'il est très fortement tassé à la main, une densité gravimétrique de 0,700. Sa so-

lubilité dans le mélange d'alcool et d'éther donne lieu à des remarques identiques à celles qui ont été faites pour le fulmi-coton ordinaire : lorsqu'on fait varier le degré de concentration des acides, on obtient des modifications correspondantes dans la proportion de nitrocellulose soluble. Enfin, la nitrocellulose se dissout dans l'éther acétique comme le fulmi-coton.

Action de la chaleur. — Soumise à l'action prolongée d'une température même inférieure à 70°, l'hydrocellulose nitrée, comme le fulmi-coton, éprouve un commencement de décomposition dont les produits, absolument inappréciables à l'odorat ou au papier de tournesol, agissent sur le papier à l'iodure de potassium amidonné.

L'action de températures plus élevées détermine une décomposition nitreuse, sensible à l'odorat; puis, à mesure que la température s'élève, le dégagement d'acide hypoazotique devient apparent. Enfin, à une température déterminée, la décomposition nitreuse devient assez vive pour que la chaleur dégagée par cette réaction provoque la déflagration de la masse.

On a atteint à ce moment le *point de déflagration*.

Mais ces actions à basse ou haute température sont variables pour l'hydrocellulose nitrée, avec l'intensité des lavages auxquels a été soumis l'échantillon en essai.

Nous avons suivi sur un même lot de cellulose nitrée les modifications produites sous l'influence de lavages successifs.

Le produit obtenu après que les eaux de lavage n'accusaient plus trace d'acidité déflagrait à 132° et résistait $1^{mm},5$ à l'épreuve de chaleur réglementaire, instituée pour la réception du fulmi-coton de la marine (action d'une température de 65°). Puis les lavages se succédant et les eaux étant portées à 40° et rendues alcalines pour rendre l'action plus efficace, nous avons vu le point de déflagration monter à 145°, puis à 178°, tandis que l'épreuve de chaleur donnait 3 minutes, puis 11 minutes. A partir de ce moment, 4 nouveaux lavages ne nous font gagner que 2° (180°) pour le point de déflagration, tandis que l'épreuve de chaleur accuse plus de 40 minutes.

On conçoit, en effet, que les dernières traces d'acidité n'aient plus d'effet sensible sur l'énergie de la décomposition nitreuse

provoquée par une haute température, tandis que, à basse température, au contraire, ces dernières traces d'acidité ont une influence très grande sur la résistance du produit à la décomposition infime accusée par le papier à l'iodure de potassium.

Le chiffre de 180° est donc probablement voisin du point de déflagration du produit pur, qui diffère peu du chiffre de 199° trouvé pour le fulmi-coton ordinaire, dans les mêmes conditions d'expérience.

Action du choc. — L'hydrocellulose nitrée à l'état sec détone par le choc de fer sur fer et de fer sur grès (nous n'avons pu obtenir la détonation par le choc de fer sur bois dur); le choc était produit au moyen d'un marteau.

La matière humide est complètement insensible aux chocs.

Pressions en vase clos. — La déflagration de l'hydrocellulose nitrée a été obtenue en vase clos à deux densités de chargement différentes.

Nous rapprochons, dans le tableau suivant, des résultats obtenus pour l'hydrocellulose nitrée ceux qu'a donnés, dans les mêmes conditions d'expérience, le coton-poudre ordinaire. On a opéré dans une éprouvette en acier, frettée par le système Schultz, où les pressions étaient mesurées au moyen d'appareils crushers.

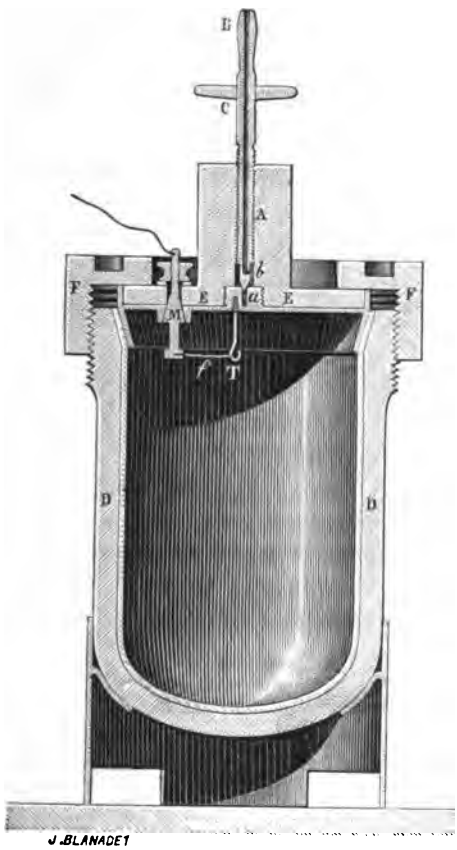
DENSITÉ de chargement.	CELLULOSE NITRÉE.		COTON-POUDRE.	
	Écrasement observé.	Pression kg par cmq.	Ecrasement observé.	Pression kg par cmq.
	mm		mm	
0,10	1,30	889	1,10	835
0,15	3,45	1464	3,65	1517

On remarquera l'identité presque complète de ces deux explosifs en vase clos, en ce qui concerne leur explosion de second ordre.

Chaleur de combustion. Volume des gaz produits. — La chaleur de combustion de la nitrocellulose a été mesurée dans des conditions identiques à celles que M. Sarrau a décrites dans les

Comptes rendus de l'Académie des sciences (¹). La bombe calorimétrique seule a été modifiée, et le croquis ci-contre (*fig.* 2) montre la disposition nouvelle adoptée.

Fig. 2.

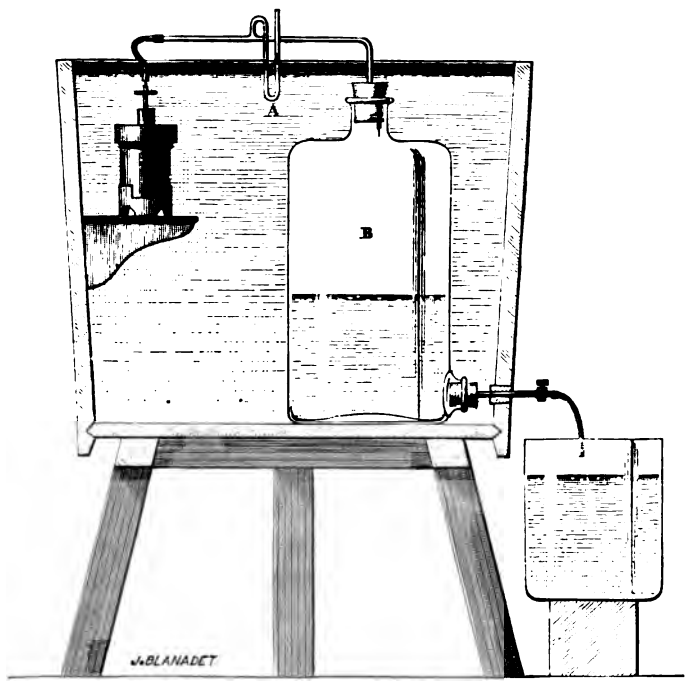


Elle se compose d'une boîte cylindrique D, terminée, à l'une de ses extrémités, par une calotte sphérique. Cette pièce en fer forgé, obtenue par emboutissage, présente une grande résistance malgré son peu d'épaisseur. Elle est fermée à sa partie supérieure par une cuvette à fond plat E. Le joint s'établit par les surfaces coniques ménagées sur les deux pièces et rodées l'une sur l'autre. Le ser-

(¹) *Compt. rend.* 1873 : **77**, 138, 478.

rage est fait au moyen de l'écrou F. La cuvette porte un appendice dans lequel est disposé un robinet à pointe A, percé d'un canal intérieur; elle présente également un renflement M dans lequel est percé un trou conique qui reçoit le cône de mise de feu. Ce cône est métallique et isolé par une mince couche de vernis à la gomme laque du corps de la bombe : de sorte qu'il est possible de faire rougir, au moyen d'un courant électrique, un fil fin tendu entre la tige du cône isolé et la borne T fixée sur la cuvette. On met ainsi le feu à la charge. Cet appareil permet de recueillir les gaz provenant de l'explosion pour en mesurer le volume;

Fig. 3.



il permet aussi de recueillir facilement les résidus solides ou liquides. Mais cette disposition exige une grande perfection d'ajustage pour ne donner lieu à aucune fuite. Cette bombe a été construite par M. Bianchi.

La mesure du volume des gaz produits a été faite au moyen du dispositif suivant (*fig.* 3) :

Dans une cuve A remplie d'eau et de 60^{lit} environ de capacité, est disposé un flacon de 6^{lit} B, à tubulure inférieure. Cette tubulure est munie d'un bouchon à un trou, traversé par un tube de verre qui débouche hors de la cuve et se termine par un robinet. La tubulure supérieure est munie d'un bouchon traversé par un tube capillaire, qui se recourbe à angle droit et porte un branchement, où l'on verse un peu de mercure et qui sert de manomètre.

On commence par remplir complètement d'eau le flacon, y compris le tube capillaire : la bombe, après l'expérience, est portée dans la cuve, dont elle prend la température. L'ajutage du robinet à pointe est réuni, par un tube de caoutchouc, au tube capillaire, et l'on arrive, en ouvrant simultanément le robinet à pointe de la bombe et le robinet du flacon, à débiter le gaz, sous une pression de quelques millimètres de mercure seulement, ce qui garantit contre toute perte. L'eau qui s'écoule du flacon est recueillie dans un vase taré, et, lorsqu'à la fin de l'expérience on a ramené, par l'écoulement du liquide, le niveau de mercure dans la branche du manomètre à celui qu'il occupait primitivement, le poids de l'eau recueillie donne le volume des gaz permanents produits, sous la pression atmosphérique, saturés d'humidité à la température de la cuve.

Les essais ont porté comparativement sur le fulmi-coton du Moulin-Blanc, le coton azotique complètement soluble dans le mélange d'alcool et d'éther et servant à la préparation du collodion, et, enfin, sur plusieurs échantillons de cellulose nitrée obtenus à diverses périodes de la fabrication.

Les résultats sont consignés dans le tableau suivant, qui comprend en outre les éléments des déterminations :

Poids en eau du calorimètre, de la bombe et du liquide $2^{kg},135$.

SUBSTANCE.	CHARGE.	TEMPÉRATURE initiale.	TEMPÉRATURE finale	EXCÈS.	CHALEUR dégagée par kilogramme.	GAZ permanents produits (0°,760).
	gr	°	°	°	Cal	lit
Fulmi-coton. (Moulin-Blanc).....	6	7,60	10,69	3,09	1099	650
Échantillon-type.....	6	8,70	11,79	3,09		
Coton azotique. (Collodion).....	6	8,40	11,01	2,70		
	6	8,50	11,02	2,70	951	713
	6	7,50	10,02	2,70		
Nitrocellulose, 1re lot..	6	7,68	10,66	2,98	1060	
Nitrocellulose, 2e lot..	6	7,80	10,95	3,15	1124	
	6	8,00	11,17	3,17		
Nitrocellulose, 3e lot..	6	10,50	13,48	2,98	1060	607
		10,00	13,97	2,97		
Nitrocellulose, 4e lot..	6	11,30	14,32	3,02	1075	624
		9,50	12,53	3,03		
Nitrocellulose, 5e lot..	6	9,06	12,70	3,10	1103	631
		12,02	15,30	3,10		
Nitrocellulose, 6e lot..	6	11,08	14,94	3,14	1120	629

Nous trouvons donc ici encore la nitrocellulose sensiblement identique au fulmi-coton.

Nous signalerons la sensibilité remarquable de cette épreuve calorimétrique, surtout lorsqu'elle est accompagnée de la mesure du volume des gaz, pour différencier les divers échantillons.

Nous avons, en effet, toujours trouvé pour la quantité de chaleur dégagée par un même échantillon, comme l'indique, d'ailleurs, le tableau ci-dessus, des nombres identiques, en opérant à des jours différents et pour des températures du bain du calorimètre très variables, et les écarts signalés plus haut sont exclusivement dus à des variations dans la nature des échantillons en essais.

Comme exemple de l'application de cette méthode au classement d'une cellulose nitrée quelconque, entre les deux types extrêmes du coton azotique d'une part et du fulmi-coton, nous citerons l'essai suivant, relatif à une nitrocellulose fabriquée avec de la pâte de paille, par M. Lanfrey, lieutenant au train des équipages.

Les résultats et les éléments qui ont servi à les calculer sont donnés par le tableau suivant :

SUBSTANCE.	CHARGE.	TEMPÉRATURE			CHALEUR dégagée par kilogramme	GAZ permanents produits 0°, 760mm
		initiale.	finale.	excès.		
Cellulose paille..	6gr	9°,60	12°,32	2°,72	1019cal	680l
		9°,10	11°,82	2°,72		

On voit donc que la nitrocellulose paille se place, par la quantité de chaleur et le volume de gaz qu'elle dégage, entre le fulmi-coton et le coton azotique, mais en se rapprochant de ce dernier : c'est une cellulose imparfaitement nitrifiée, comme pouvait le faire prévoir son procédé de préparation.

Les nombres relatifs au collodion et au fulmi-coton, que j'ai cités plus haut, donnent lieu à une remarque. On pourrait croire, en effet, que, par une sorte de compensation analogue à celle qui a été observée pour les diverses poudres noires, le corps qui dégage le plus de chaleur produit aussi le moins de gaz, ce qui tendrait à une égalisation des forces; mais il n'en est pas ainsi.

Cette différence provient de ce que dans les produits complètement nitrifiés, l'hydrogène est brûlé plus complètement que dans les autres, et que l'eau ainsi formée ne subsiste plus à l'état de gaz après refroidissement, au moment où ils sont mesurés. Mais, au moment de la déflagration, cette eau est à l'état gazeux et concourt à la production de la pression.

Résumé. — Ainsi donc, les propriétés de la nitrocellulose ne diffèrent pas sensiblement de celles du coton-poudre de guerre.

Tout au plus peut-on signaler une sensibilité sous le choc du marteau un peu plus grande pour le nouvel explosif, et il paraît évident que c'est à son état physique spécial qu'est due cette sensibilité.

Nous pensons donc qu'on peut admettre, au moins au point de vue pratique, l'identité complète du fulmi-coton ordinaire et de la cellulose nitrée.

Le passage par l'hydrocellulose ne paraît produire qu'un résul-

tat, la substitution d'un procédé chimique de déchiquetage à un procédé mécanique, et ce point paraît important.

L'un des reproches faits le plus souvent au coton-poudre est celui de nécessiter pour sa fabrication un matériel que n'exige pas la nitroglycérine. Cet inconvénient n'existe plus ici : l'acide chlorhydrique, qui est l'acide produit industriellement au plus bas prix, fait l'œuvre des piles à papier.

Nous avons déjà fait remarquer l'avantage de la pulvérisation, au point de vue d'une bonne nitrification, à la condition de réaliser de bonnes conditions de trempage. Ce même état est non moins favorable à la perfection des lavages qui se font par décantation, avec une facilité extrême.

Reste la question de savoir si la nitrocellulose peut être employée dans les mêmes conditions que le fulmi-coton.

Nitrocellulose granulée. — La nitrocellulose, pas plus que le fulmi-coton, ne peut être employée à l'état de poussière; mais on pourrait l'obtenir, sans doute, sous forme granulée en suivant le procédé du Moulin-Blanc.

Nitrocellulose comprimée. — La nitrocellulose humide se comprime avec facilité et peut acquérir des densités plus considérables que le coton-poudre, ce qui s'explique par l'état de division et l'absence d'élasticité que nous avons déjà signalés.

L'un des échantillons que nous joignons à cette note a reçu la densité de 1,310 (à l'état sec), au moyen d'une presse de faible puissance.

Les matières pressées ont une solidité suffisante à l'état sec; on pourrait, d'ailleurs, comme on l'a fait en Angleterre à l'usine de Faversham, les enduire extérieurement de paraffine ou de résine.

A l'état humide, la nitrocellulose serait peut-être trop friable; ceci est, d'ailleurs, une question pratique qui ne sera résolue qu'en fabriquant de grands prismes de cette matière.

Mais l'on sait qu'on peut obtenir les avantages du fulmi-coton humide, c'est-à-dire l'insensibilité absolue au choc et même à la détonation d'une capsule, par le trempage du fulmi-coton dans un bain de paraffine pendant quelques minutes, de façon à obtenir une véritable imbibition. Ce procédé s'applique parfaitement

à la nitrocellulose, et nous joignons à cette note un échantillon préparé de cette façon.

Cette matière est, comme le fulmi-coton paraffiné, insensible à la détonation de l'amorce du fulminate de $1^{gr},5$ et ne détone que sous l'influence d'une charge excitatrice de fulmi-coton ou de nitrocellulose non paraffinée.

III. — Conclusion.

Le produit nitré obtenu au moyen de l'hydrocellulose ne diffère pas, par ses qualités explosives, du fulmi-coton ordinaire. La forme sous laquelle il est produit lui donne seulement une sensibilité plus grande.

Son mode de fabrication supprime toute installation matérielle coûteuse, en substituant à un déchiquetage mécanique un déchiquetage chimique.

Ce dernier déchiquetage présente des avantages à la fois au point de vue de la production du produit nitré et de la purification de ce produit.

La nitrocellulose peut être substituée au fulmi-coton ordinaire, dans toutes les conditions de son emploi, avec un égal degré de sécurité dans toutes les circonstances où le fulmi-coton doit être employé à l'état humide ou paraffiné, avec l'inconvénient d'une sensibilité un peu plus grande dans le cas où le fulmi-coton doit être employé à l'état sec.

Nous rappelons, enfin, que la nitrocellulose est susceptible d'applications spéciales auxquelles ne se prête pas le fulmi-coton, comme celle de la fabrication des cordeaux porte-feu obtenus par étirage (1).

Paris, 8 avril 1879.

(1) Voir ci-après, p. 40.

COMMISSION DES SUBSTANCES EXPLOSIVES.

RAPPORT N° 1 [1]

SUR LES

TUBES ET CORDEAUX DÉTONANTS.

EMPLOI DES CORDEAUX DÉTONANTS CHARGÉS DE COTON-POUDRE.

Par lettre du ministre de la guerre, en date du 12 novembre 1878, et sur la demande du service du génie militaire, la commission des substances explosives a été chargée de la recherche d'un moyen de transmettre le feu instantanément à des charges de poudre, de dynamite et de coton-poudre, en faisant usage d'un cordeau porte-feu au coton-poudre ou à la dynamite.

Après étude des différents systèmes employés jusqu'à ce jour pour la transmission rapide du feu, la commission a cru devoir borner tout d'abord ses essais à des cordeaux au coton-poudre, à cause des difficultés que devait nécessairement entraîner, dans la pratique, la congélation de la dynamite, et elle a été amenée à essayer la confection et l'emploi de tubes en plomb contenant du coton-poudre, réduits par étirage à un faible diamètre et revêtus d'une enveloppe protectrice en chanvre, de façon à constituer des cordeaux détonants [2].

---

(1) Rapport présenté au nom d'une sous-commission spéciale composée de :

MM. Fritsch, Sarrau et Sebert, membres titulaires;
Moisson et Vieille, membres adjoints.

Rapporteur, M. Sebert.

(2) Depuis la rédaction de ce rapport, des essais faits avec une nouvelle

La confection de ces cordeaux n'est devenue réalisable que lorsqu'on a eu recours, pour le chargement des tubes placés à l'intérieur, à l'emploi du coton-poudre d'une nature particulière, réduit à l'état de poudre impalpable et susceptible dès lors de se comprimer régulièrement par l'effet de l'étirage.

Les cordeaux ainsi obtenus ont permis de transmettre, avec une rapidité très grande, une détonation provoquée par une capsule fulminante.

La détonation ainsi provoquée dans un cordeau peut se communiquer à des charges de coton-poudre ou de dynamite; elle peut provoquer l'inflammation de charges de poudre ordinaire.

Les cordeaux peuvent être raccordés ensemble, de façon à obtenir des longueurs presque indéfinies; ils peuvent être ramifiés et former des dérivations successives en nombre illimité. On peut, même en chaque point de leur parcours, produire des ramifications multiples simultanées, susceptibles individuellement de provoquer l'explosion de charges correspondantes.

La question posée à la commission par la lettre du 12 novembre 1878 paraît donc résolue, par l'emploi de ces cordeaux, qu'il ne reste qu'à soumettre à la sanction de la pratique.

Le présent rapport a pour but de faire connaître les résultats obtenus et de donner les renseignements nécessaires sur le mode de fabrication et sur le mode d'emploi de ces cordeaux détonants.

Il est divisé en quatre chapitres :

Le premier chapitre renferme les détails relatifs à la fabrication des tubes et cordeaux détonants; le deuxième chapitre comprend les renseignements relatifs au mode d'emploi des cordeaux considérés isolément, c'est-à-dire abstraction faite de leur application à l'explosion de charges diverses; il indique la façon d'en provoquer la détonation, les procédés employés pour les réunir et les ramifier, les effets que produisent les chocs et les élévations de température et la manière dont ils se comportent dans le maniement et le transport.

---

machine à étirer ont permis d'améliorer la fabrication et d'obtenir des tubes en étain, chargés de coton-poudre, plus résistants que les tubes en plomb et susceptibles d'être employés sans enveloppe protectrice.

Le troisième chapitre traite de l'emploi des cordeaux détonants pour provoquer l'explosion de charges de différente nature, poudre noire, dynamite et coton-poudre.

Enfin, le quatrième chapitre donne quelques indications sur les applications qui peuvent être faites de ces cordeaux pour les usages militaires et les compare avec les modes de mise de feu rapide connus.

CHAPITRE PREMIER.

FABRICATION DES TUBES ET CORDEAUX DÉTONANTS.

I. — Difficultés d'étirage de tubes en plomb chargés de coton-poudre ordinaire.

Le coton-poudre comprimé ordinaire, réduit en poudre par une désagrégation opérée à la main, alors même qu'il a été passé au tamis de soie, après broyage au pilon ou à la molette, forme une substance qui présente des tendances à se feutrer et qui se tasse difficilement et irrégulièrement.

Si l'on emploie cette poudre pour charger un tube en plomb de $0^m,02$ environ de diamètre et de plusieurs mètres de longueur, tenu verticalement, on ne peut, alors même qu'elle est bien sèche, arriver à la verser directement dans le tube, de façon qu'elle le remplisse uniformément sous une densité un peu forte.

Il faut, après l'avoir introduite par petites portions, bourrer sur chacune d'elles à l'aide d'une baguette, pour assurer le remplissage et augmenter la densité. Mais on ne peut obtenir ainsi, quelles que soient les précautions prises, qu'un chargement irrégulier, dont la densité présente des variations successives, la compression se transmettant irrégulièrement dans la masse sous l'action du bourrage et ne pouvant être rigoureusement égale pour toutes les charges introduites.

Lorsqu'on soumet ensuite ce tube à l'étirage, ces variations vont en s'accentuant. Le coton-poudre présentant une résistance à la compression différente selon les points du tube, par suite des variations de sa densité, le plomb des parois se trouve refoulé vers les points où le tube est moins bien rempli; il diminue, au contraire, d'épaisseur dans les autres, et, la surface extérieure restant cylindrique, il se forme à l'intérieur des renflements et des rétrécissements successifs, ce qui, en affaiblissant le métal en certains

points, provoque bientôt des ruptures qui empêchent de continuer l'étirage.

En opérant ainsi, avec le coton-poudre comprimé ordinaire provenant de l'usine du Moulin-Blanc, on a réussi tout au plus à obtenir des tubes présentant un diamètre extérieur de 8^{mm} à 9^{mm}.

Sous ces dimensions, ils n'étaient pas suffisamment maniables et l'irrégularité d'épaisseur des parois leur donnait une grande fragilité. On verra, en outre, plus loin qu'ils ne transmettaient pas régulièrement la détonation.

II. — Emploi du coton-poudre à l'hydrocellulose.

Si l'on fait usage, au contraire, pour le chargement des tubes en plomb, de coton-poudre préparé au moyen de l'hydrocellulose ou cellulose friable, obtenue, en poudre impalpable, par l'un des procédés indiqués par M. Aimé Girard (1), on peut obtenir, par étirage, des tubes en plomb atteignant un diamètre extérieur de 4^{mm} seulement et qui renferment à l'intérieur une âme en coton-poudre dense et homogène d'une régularité extrême.

L'examen microscopique comparatif des produits employés dans les deux cas permet d'expliquer aisément ce résultat. En effet, dans le coton-poudre fabriqué par le procédé Abel, et même après l'avoir réduit mécaniquement à l'état de poudre aussi fine que possible, on distingue au microscope des fibres qui, malgré les divisions opérées, conservent encore une longueur considérable, par rapport à leur diamètre, et se présentent sous des formes contournées et enchevêtrées qui se prêtent évidemment au feutrage.

Dans le coton-poudre fabriqué au moyen de l'hydrocellulose, préparée par le procédé qui sera indiqué plus loin, les fibres de coton, bien qu'encore discernables au microscope, atteignent au plus une longueur égale à 10 à 15 fois leur diamètre et se présentent dès lors sous forme de petits bâtonnets mesurant moins de $0^{mm},1$ de longueur sur $0^{mm},01$ de diamètre environ.

En outre, la résistance des parois des tubes qui forment les fibres du coton est notablement réduite, de sorte que de nouvelles fragmentations se produisent facilement dans l'opération de l'éti-

(1) *Compt. rend.*, 6 déc. 1875.

rage. (M. Aimé Girard a annoncé avoir obtenu l'hydrocellulose à un état de division tel que la longueur des fragments atteint à peine le diamètre de la fibre; le coton employé dans la préparation des tubes détonants n'a pas été amené à cet état de division extrême, les résultats obtenus ont été néanmoins suffisants.)

Le coton-poudre préparé au moyen de l'hydrocellulose forme une poudre fine qui se tasse d'elle-même dans les récipients où on l'introduit et prend naturellement ainsi une densité d'environ 0,350.

On peut le verser directement dans un tube en plomb de $0^{m},01$ à $0^{m},02$ de diamètre, tenu verticalement, et obtenir un tassement régulier avec la simple précaution de frapper doucement sur les parois du tube pendant l'introduction.

Il est bon d'employer la substance légèrement chauffée et d'opérer dans un local bien sec, son état pulvérulent la rendant très sensible à l'humidité.

On s'est arrêté à l'emploi de ce produit pour la préparation des cordeaux détonants.

III. — Préparation de la nitrocellulose ou coton-poudre à l'hydrocellulose.

Le coton-poudre spécial employé pour le chargement des tubes détonants, qui ont servi jusqu'à ce jour aux études de la commission, a été préparé au Dépôt central des poudres par les soins de M. Vieille, sous-ingénieur des poudres, suivant un procédé décrit dans une note spéciale (1).

On se contentera de rappeler ici que l'hydrocellulose a été obtenue en suivant une méthode nouvelle de M. Aimé Girard, c'est-à-dire par l'action sur le coton de l'acide chlorhydrique gazeux ou dissous.

On a successivement expérimenté les deux procédés et l'on s'est arrêté à la dernière méthode, qui donne lieu, en travail courant, à des manipulations plus faciles que la première et qui a été employée à peu près exclusivement pour la préparation de la cellulose nitrée destinée aux essais de la commission.

(1) Voir ci-dessus, p. 21.

L'acide chlorhydrique est l'acide du commerce, le coton employé est du coton filé provenant de déchets de filature; la transformation en hydrocellulose dure deux à trois jours. On lave le produit à l'eau pure et on le réduit en poudre en le faisant passer à travers une toile métallique très fine. On effectue alors une série de lavages pour enlever toute trace d'acidité et l'on procède à un séchage à l'étuve, qui dure environ 72 heures à la température de 60°.

La nitrification de l'hydrocellulose s'opère, en suivant la même marche que pour la préparation du coton-poudre ordinaire, par les procédés usuels.

On prépare un mélange de 3 parties d'acide sulfurique à 66° et 1 partie d'acide azotique à 48° et l'on y verse peu à peu l'hydrocellulose, en opérant sur 250^{gr} de ce produit pour 3^{kg} de mélange acide.

Le vase dans lequel se fait la réaction est abandonné à lui-même pendant 12 à 18 heures, puis on le noie dans 40 fois son poids d'eau; on rassemble l'hydrocellulose nitrée et on la lave par décantation, en opérant à l'eau chaude et prolongeant l'opération en présence des carbonates alcalins pour obtenir une neutralité complète.

Le produit est ensuite séché à l'étuve et, comme il est très hygrométrique, il est conservé dans des flacons en verre bien bouchés.

Le rendement est de 167 pour 100 d'hydrocellulose sèche employée.

IV. — Choix et chargement des tubes en plomb destinés à l'étirage.

Après quelques essais sur l'emploi de tubes de dimensions et de compositions diverses, on s'est arrêté à l'emploi des tubes en plomb étiré, que l'on trouve dans le commerce, et qui présentent un diamètre extérieur de $15^{mm},5$ et un diamètre intérieur de 12^{mm} environ.

On doit choisir les tubes en plomb ne présentant pas de défauts apparents qui pourraient provoquer des ruptures ultérieures dans l'étirage; il y a avantage d'ailleurs à prendre du plomb un peu dur : le plomb très pur et mou n'a pas donné d'aussi bons résultats.

Ces tubes sont redressés et coupés par bouts de 5^{m} environ de

longueur, que l'on suspend verticalement après en avoir fermé l'extrémité inférieure en l'aplatissant au marteau pour former la soie destinée à permettre de saisir le tube dans les mordaches de la machine à étirer.

Le chargement doit s'effectuer à l'abri de l'humidité, dans un atelier maintenu en hiver à une température convenable.

Ainsi qu'il a été dit, le coton-poudre à l'hydrocellulose doit être employé très sec et même légèrement chaud, parce qu'il absorbe moins l'humidité pendant le chargement et peut être alors versé plus facilement dans le tube.

Il est donc avantageux de faire passer de nouveau ce coton-poudre à l'étuve, au moment du chargement, et de l'employer encore chaud à la sortie de l'étuve.

Les tubes sont placés verticalement; un homme monté sur une plate-forme supérieure verse dans chacun d'eux, à l'aide d'une mesure et d'un entonnoir, la quantité convenable de coton-poudre qui a été préalablement pesée, pendant qu'un second ouvrier, monté sur une échelle, frappe légèrement contre les parois du tube, avec un bout de tube en caoutchouc demi-dur.

Ce dernier ouvrier agit, autant que possible, vers le point que doit occuper le niveau du chargement et de façon à obtenir un tassage convenable.

Le tassage peut varier dans des proportions assez grandes, suivant que l'on prolonge plus ou moins le chargement, en continuant à frapper sur le tube.

La charge à laquelle il convient de s'arrêter, pour un tube du diamètre indiqué et une longueur de 5^{m}, a été trouvée d'environ 200^{gr}, correspondant à une densité de chargement de 0,366, mais cette charge peut être portée jusqu'à 250^{gr}, ce qui correspond à une densité de chargement de 0,470.

Le chargement effectué, on ferme l'extrémité supérieure du tube, en formant au marteau une soie pour l'étirage, comme on l'a fait pour l'extrémité inférieure.

V. — Étirage.

On a fait usage, pour les premières opérations d'étirage, d'une installation qui exigeait un emplacement considérable.

La filière étant fixée dans un étau, on opérait, en effet, en exerçant une traction rectiligne sur l'extrémité du tube amincie en forme de soie et préalablement engagée dans le trou de la filière. Cette traction était produite par l'intermédiaire d'un ruban d'acier qui venait s'enrouler sur un tambour mis en mouvement au moyen d'une manivelle.

Le tube reposait, avant son entrée dans la filière et à sa sortie, sur une sorte de table formée de planches supportées par des piquets.

Outre l'emplacement qu'il exigeait, ce procédé avait encore l'inconvénient de soumettre à chaque passe, et d'une façon continue, toute la portion du tube qui avait déjà passé dans la filière à l'effort de traction nécessaire pour l'étirage, et de provoquer, par suite, des ruptures aux points faibles qui cédaient graduellement sous l'action prolongée qu'ils subissaient.

Pour remédier à ces inconvénients, on a substitué à ce premier système une machine dans laquelle le tube s'enroule directement sur le tambour qui sert à produire la traction nécessaire à l'étirage.

Le tube enroulé sur ce tambour, après la première passe, est présenté au trou de la filière suivante par l'extrémité qui vient de sortir de la filière et il est reçu sur un tambour symétrique semblable, qui provoque un effort de traction en sens inverse.

Il s'enroule ainsi, à chaque passe, et alternativement d'un tambour sur l'autre.

Le mouvement est donné successivement à chaque tambour au moyen d'une poulie à gorge, montée sur l'axe de chacun d'eux, et qui peut lui être relié à volonté au moyen d'un clavetage. Ces poulies sont reliées entre elles par une corde sans fin ; une deuxième poulie, montée sur l'axe de l'un des tambours, reçoit également une corde sans fin qui passe sur une poulie motrice semblable, placée à distance sur l'axe d'une sorte de treuil. Ce dernier, par l'intermédiaire d'engrenages, reçoit le mouvement d'une manivelle que l'on peut faire tourner tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre.

En plaçant alternativement chacune des clavettes qui fixent les poulies à gorges sur les tambours, on embraye, suivant le sens de la marche, la poulie du tambour qui doit provoquer l'étirage, en

laissant folle la seconde poulie, ce qui permet au tambour correspondant à cette dernière de ne prendre que le mouvement que provoque la traction du tube.

Pour régler l'enroulement des tubes sur les tambours et maintenir constamment la filière dans la direction convenable, on a monté cette filière sur une glissière parallèle aux axes des tambours et une vis sans fin permet de la déplacer latéralement.

Cette vis sans fin est mise automatiquement en mouvement par une courroie montée sur deux tambours coniques et dont le déplacement, commandé par une fourchette, peut faire varier à volonté la vitesse de rotation de la vis.

VI. — Détails de l'étirage.

En partant du diamètre extérieur de $15^{mm},5$, on emploie d'abord des filières de diamètre décroissant par $0^{mm},5$ jusqu'à ce qu'on arrive au diamètre de 5^{mm}; on continue ensuite en prenant des filières variant de $0^{mm},2$.

L'étirage, jusqu'au diamètre de 4^{mm}, comprend donc 26 passes, dont 21 avec les filières variant par demi-millimètre.

L'allongement obtenu est de 9 à 10 fois la longueur primitive du tube; il est moindre quand la densité de chargement est elle-même plus faible, l'épaisseur des parois des tubes reste alors un peu plus forte.

Pour la densité de chargement de 0,366, on a obtenu, suivant la qualité du plomb employé, un allongement compris entre 8,7 et 9,7.

La densité du coton-poudre constituant l'âme a été amenée dans le même cas entre 1,25 et 1,10, ce qui correspondait à une augmentation de densité de 3,4 à 2,9; les densités extrêmes obtenues, en faisant varier les charges, ont été de 0,9 et 1,47 (cette dernière avec un tube en étain).

Chaque passe dure de 5 à 10 minutes environ, suivant la filière à laquelle on est arrivé; l'opération totale de l'étirage dure à peu près 3 heures; le chargement prend de 15 à 30 minutes, suivant que le coton-poudre est employé chaud ou froid.

Le tube terminé pèse à peu près 88^{gr} le mètre, et chaque mètre contient environ 5^{gr} de coton-poudre. (Cette quantité a

pu être portée jusqu'à 6^{gr} avec un tube en étain, à la densité de 1,47.

En évaluant le prix d'un tube en plomb de 5^{m} de longueur à 2^{fr},30, le prix du coton-poudre qui le remplit à 1^{fr},5^{fr} le kilogramme, et ajoutant 3^{fr},20 pour la main-d'œuvre de chargement et d'étirage (3 heures à deux ouvriers), on trouve un prix de revient de 6^{fr},50 pour les 45^{m} que donne en moyenne l'étirage d'un tube de cette longueur, soit 0^{fr},15 par mètre de tube étiré au diamètre de 4^{mm}.

On a remarqué qu'on éprouvait beaucoup plus de difficultés d'étirage avec le coton-poudre fabriqué avec des déchets de filature et traité par l'acide chlorhydrique liquide qu'avec les premiers échantillons obtenus par l'action du gaz acide chlorhydrique sur du coton en ouate. Les ruptures, pendant l'étirage, ont été assez fréquentes pour ne pas permettre de considérer la fabrication comme pratique.

On étudie, pour remédier à ces inconvénients, un nouveau mode d'étirage par le laminage entre des cylindres cannelés; si l'on ne réussit pas ainsi à améliorer la fabrication, il faudra revenir à la préparation de l'hydrocellulose au moyen du coton choisi (1).

On s'est assuré d'ailleurs que la différence ne provient pas de la qualité du plomb ni de l'emploi de la nouvelle machine à étirer à tambours; l'étirage par traction rectiligne a donné des ruptures plus nombreuses encore avec le coton-poudre de la dernière fabrication qu'avec celui de la première.

VII. — Embobinage.

Les tubes étirés peuvent être enroulés sur des bobines analogues à celles qui sont employées dans la télégraphie militaire. C'est la disposition qui a été adoptée pour ceux qui ont servi aux essais de la commission.

On a fait confectionner, à cet effet, des bobines légères, formées d'un noyau creux et de deux joues en bois, renforcées par une traverse. Ces joues sont percées de trous dans lesquelles s'en-

(1) Voir la note 2 de la p. 36.

gage un axe en fer. Le poids de la bobine avec l'axe ne dépasse pas 1^{kg}.

Pour le transport, chaque bobine peut se placer sur un crochet spécial qu'un homme peut porter à dos. Le crochet peut être disposé de façon à comprendre une petite boîte disposée pour recevoir les différents accessoires qui peuvent être utiles pour l'emploi des cordeaux.

Le poids d'un crochet ainsi établi est d'environ 3^{kg}.

Les tronçons successifs sont réunis, pour l'embobinage, au moyen de petits manchons en laiton de 40^{mm} de longueur et de $4^{mm},1$ de diamètre intérieur, dans lesquels on engage les extrémités des deux tronçons à réunir après les avoir coupés carrément et en les amenant en contact vers le milieu du manchon.

Ces manchons sont fixés en pratiquant vers chaque bout un ou mieux deux étranglements ou sertissures au moyen de la pince spéciale habituellement employée pour sertir les capsules fulminantes sur les mèches Bickford; cette même pince peut servir également, par sa partie coupante, pour tronçonner les tubes eux-mêmes, mais une simple lame de canif suffit pour cet usage.

Pour empêcher l'introduction de l'humidité par les joints, il suffit de prendre la précaution d'enduire de vernis à la gomme laque les extrémités des tubes avant de les engager dans le manchon et de passer également une couche de vernis sur les joints après le sertissage.

On peut aussi employer de la même façon le caoutchouc liquide, ou enfin faire usage de petits manchons doublés extérieurement d'un tube de caoutchouc dont les extrémités, d'abord relevées pour permettre le sertissage du manchon, sont ensuite rabattues, de façon à recouvrir les joints.

On peut enrouler sur chaque bobine une longueur de tube d'environ 250^{m}, on obtient ainsi un poids de 22^{kg} à $22^{kg},500$, y compris le poids de la bobine.

VIII. — Tressage des tubes.

Pour donner plus de solidité aux tubes détonants, on les a fait recouvrir d'une enveloppe tressée en chanvre, analogue à celle qui protège les câbles électriques dits câbles militaires.

L'opération a été faite à l'usine Menier au moyen des machines qui servent à la préparation du câble militaire. Dans ces machines, le câble à recouvrir étant placé verticalement et animé d'un mouvement lent d'ascension, deux séries de bobines, déroulant chacune un fil spécial, circulent autour de lui, en sens inverse, avec une grande vitesse et en croisant alternativement leur marche quand elles se rencontrent deux à deux.

Les machines employées étaient des machines à 24 bobines; l'opération s'est faite sans difficulté; la tresse obtenue est très régulière; les fils de chanvre ont fait de légères empreintes sur la surface extérieure du tube en plomb et ce tube, pendant l'opération du tressage, s'est allongé de 4^{m} à 5^{m} par 100^{m}.

Le prix de l'enveloppe de chanvre de bonne qualité s'est élevé à $0^{fr},09$ le mètre; ce prix pourrait sans doute être réduit en conservant la même matière; on abaisserait, en tous cas, la dépense en substituant le coton au chanvre.

Le tube recouvert de tresse, ou cordeau détonant, présente un diamètre extérieur de 6^{mm} et pèse environ 93^{gr} le mètre. On peut encore en placer 250^{m} sur chaque bobine; on obtient ainsi, y compris le poids de la bobine, un poids de 24^{kg} environ et, avec le crochet, la charge s'élève à 27^{kg}, charge inférieure à celle que peut porter un fantassin.

IX. — Mode de fermeture des tubes.

Pour préserver de l'humidité les extrémités de la charge des tubes, on ferme les bouts en les coiffant au moyen de capsules vides en laiton embouties, au diamètre intérieur de $4^{mm},1$, que l'on fixe par sertissure et que l'on peut, par surcroît de précaution, placer avec interposition de vernis à la gomme laque.

A défaut de capsule, on peut encore fermer l'extrémité du tube par écrasement au moyen d'une pince ou d'un marteau.

On doit prendre alors la précaution de vider le tube sur une longueur de $0^{m},01$ à $0^{m},02$ au moyen d'une petite pointe, de façon à pouvoir l'aplatir plus facilement, et l'on peut, en outre, replier sur elle-même l'extrémité aplatie.

X. — Maniement. — Transport.

Le tube non recouvert de tresse doit être manié avec plus de

précaution que le tube tressé, car il est plus fragile; il peut cependant être facilement enroulé et déroulé un assez grand nombre de fois, même sur un cercle de $0^m,03$ à $0^m,04$ de diamètre seulement. On le casse facilement en le pliant à angle vif; on le coupe aisément avec un canif; on peut en traîner de longs bouts sur le sol sans en déterminer la rupture.

Le tube recouvert de tresse est très résistant, il peut être manié sans grandes précautions et plié en tous sens; il est assez difficile à rompre par flexions répétées et il résiste bien à la traction.

Les bobines de tubes détonants peuvent être transportées sans précautions spéciales : il suffit, dans les envois, de les recouvrir d'une enveloppe en toile ou en cordage, pour protéger la couche extérieure, du moins s'il s'agit de tube non tressé; le tube recouvert de tresse n'exige même aucune enveloppe nouvelle.

CHAPITRE II.

MODE D'EMPLOI DES TUBES ET CORDEAUX DÉTONANTS.

I. — Manière de provoquer la détonation d'un tube ou d'un cordeau.

Les tubes et les cordeaux détonants n'ayant présenté aucune différence dans l'emploi, en ce qui concerne le mode de détonation, tout ce qui sera dit des tubes s'applique également aux cordeaux. Dans les expériences faites par la commission, on a employé le plus souvent des tubes détonants, afin d'éviter les retards qu'aurait entraînés l'envoi des tubes à l'usine pour les faire recouvrir de tresse.

Dans les essais, les tubes ou cordeaux étaient habituellement étendus simplement sur le sol, en les déroulant comme on le fait pour les câbles télégraphiques; mais on a reconnu qu'ils peuvent

être aussi bien placés dans toute autre disposition et même suspendus en l'air, enfoncés en terre ou plongés dans l'eau.

Pour provoquer la détonation d'un bout de tube, la disposition reconnue la plus avantageuse consiste, après avoir tronçonné carrément l'extrémité, pour mettre à jour l'âme en coton-poudre, à engager, sur cette extrémité, la partie rétrécie d'un petit manchon dit manchon d'amorçage. Le manchon est fixé par une sertissure faite près de son extrémité au moyen de la pince Bickford.

On engage alors, dans la partie la plus large, une capsule fulminante munie de son moyen de mise de feu, bout de mèche lente Bickford ou amorce électrique.

On peut rétrécir ensuite l'entrée du manchon d'amorçage, pour empêcher la sortie accidentelle de la capsule, mais cette précaution n'est pas indispensable et elle n'a pas été habituellement prise dans les expériences de la commission.

Si le tube détonant doit rester exposé à la pluie, on peut tamponner l'entrée du manchon avec de la cire ou un mastic quelconque.

On a toujours fait usage de capsules à la charge de $1^{gr},5$ de fulminate; les unes provenaient des établissements de l'État, école de pyrotechnie de Toulon ou école du génie d'Arras, les autres provenaient du commerce; ces dernières étaient des capsules Gaupillat, dites renforcées, c'est-à-dire à douille intérieure de renfort coiffant le fulminate.

La détonation des tubes détonants a presque toujours pu être provoquée par l'emploi de ces capsules et du manchon d'amorçage.

Deux ratés ont toutefois été obtenus dans une expérience; ils paraissent devoir être attribués à l'emploi de manchons d'amorçage trop courts, dans lesquels la capsule ne pénétrait pas suffisamment. (Séance du 9 avril 1879. Capsule d'Arras.)

A défaut de manchon d'amorçage, on peut provoquer la détonation d'un tube, en fixant latéralement la capsule sur son extrémité, au moyen d'une ligature à tours serrés faite avec une ficelle. On a obtenu aussi de cette façon un raté. (Séance du 9 avril 1879. Capsule d'Arras.)

II. — Effets de la détonation d'un tube isolé.

La détonation provoquée à l'extrémité d'un tube ou d'un cor-

deau détonant se propage, tout le long de ce tube, avec une vitesse telle que l'effet paraît instantané, quelle que soit la longueur employée.

Cette longueur a dépassé 100^{m} dans plusieurs expériences et il y a lieu d'admettre qu'on était encore loin de la limite.

Avec les tubes chargés de coton-poudre ordinaire, dont l'âme présentait une grande irrégularité et des variations sensibles de densité, la détonation s'arrêtait souvent en un point du tube peu éloigné de l'extrémité amorcée. L'enveloppe de plomb était gonflée et crevée au point où se produisait l'arrêt. On n'a pu faire détoner une longueur de tube de 10^{m} environ qu'à la condition d'employer des tubes de fort diamètre (au moins 1^{cm}).

Les tubes au diamètre extérieur de 4^{mm}, fabriqués avec le coton-poudre à l'hydrocellulose, dont l'âme présente une régularité très grande et une continuité parfaite, n'ont donné, jusqu'à ce jour, qu'un seul arrêt de détonation en plein tube, et cet arrêt a paru devoir être attribué à la présence d'un corps étranger. (Séance du 15 mai 1879.)

La détonation se transmet quels que soient les détours que fait le tube qui peut même être enroulé en hélice ou contourné irrégulièrement. Toutefois, en enroulant l'extrémité d'un tube sur une branche d'arbre de 2^{cm} de diamètre, les spires se touchant, on a obtenu un arrêt de transmission produit par l'écrasement des spires intermédiaires au moment de la détonation; mais, en écartant seulement les spires de 1^{cm} environ, on a obtenu, dans le même cas, la détonation complète. (Séance du 11 mars 1879.)

La détonation produit un bruit sec et d'autant plus violent que la longueur du cordeau qui a détoné est plus grande. Il est habituellement impossible de distinguer, dans ce bruit, le bruit spécial à la capsule; parfois, cependant, la détonation de la capsule a été perçue un peu avant celle du tube.

La détonation du tube est accompagnée de la production d'un nuage blanchâtre qui paraît être dû surtout aux particules de plomb projetées et qui ne s'étend qu'à faible distance du tube.

Par l'effet de la détonation, le tube, recouvert ou non, disparaît complètement, le plomb est projeté en parcelles extrêmement fines, qui laissent en dessous du tube une trace d'emplombage, de 2^{cm} à 3^{cm} environ de largeur, estompée sur les bords.

Si l'on opère sur un sol peu résistant, cette trace se forme au fond d'un léger sillon. Sur le bois dur, la pierre ou un métal, on n'obtient que la trace d'emplombage.

Le tube recouvert de tresse laisse sur le sol, après sa détonation, une trace analogue à celle du tube nu, le sillon est seulement un peu plus large et l'emplombage parfois moins visible. On ne retrouve pas de traces de l'enveloppe de chanvre.

Les parcelles des parois, projetées lors de la détonation d'un tube, peuvent laisser des traces d'empreintes sur des corps mous. C'est ce qui arrive, par exemple, si l'on place des tubes en plomb semblables dans le voisinage immédiat de celui qui détone; ces tubes sont alors criblés de trous et de petites empreintes de 1^{mm} à 2^{mm} de diamètre, à bords relevés en entonnoir, au fond desquelles on retrouve les petites parcelles qui ont fait l'office de projectiles.

En faisant détoner, dans une éprouvette en bronze, un bout de tube enroulé en hélice, dont la capsule était enflammée au moyen d'une mèche introduite par une étroite ouverture du couvercle, on a trouvé les parois de l'éprouvette emplombées fortement et l'on n'a recueilli que des parcelles extrêmement menues de plomb, mêlées à des fragments de cuivre provenant de la capsule et du manchon d'amorçage. (Séance du 26 février 1879.)

Lorsque des tubes, déposés sur le sol et recouverts par la neige sur une épaisseur de quelques centimètres, font explosion, ils dispersent la neige sur une largeur de 15^{cm} à 20^{cm}, en laissant ainsi sur le sol des traces extrêmement visibles. (Séance du 20 février 1879.)

Les tubes détonants plongés dans l'eau, en prenant des précautions pour que le liquide ne puisse pénétrer à l'intérieur par les joints, détonent sans laisser de traces.

La détonation d'un tube enroulé en hélice autour d'un tronc d'arbre enlève l'écorce et noircit le tronc; elle ne produit une rupture que s'il s'agit d'une branche de 2^{cm} à 3^{cm} de diamètre. (Séances des 20 février et 11 mars 1879.)

III. — Raccordement des tubes.

Il suffit de juxtaposer des tronçons de tube, bout à bout, pour que la détonation se transmette de l'un à l'autre; il peut même exister une très faible distance (3^{mm} à 4^{mm}) entre les tronçons sans

que la transmission cesse de se produire. (Séance du 29 mai 1879.)

Cette distance peut être plus grande quand les tubes sont engagés dans un manchon qu'à l'air libre ; on a pu atteindre ainsi 2^{cm}. (Séances des 29 mai et 3 juin 1879.)

L'enveloppe en tresse des cordeaux détonants facilite, comme la présence d'un manchon, la transmission à des bouts de tube séparés par une solution de continuité. (Séance du 2 avril 1879.)

Cette enveloppe, tendant à se resserrer par son mode de confection même, rapproche les fragments d'un tube rompu accidentellement et, par suite, permet, même en cas de rupture de ce genre, la transmission de la détonation.

On a pu faire détoner des tubes formés d'un grand nombre de petits tronçons juxtaposés, réunis ou non par des manchons métalliques et des bouts de cordeau recouvert de tresse dont le tube formant l'âme était brisé en de nombreux points. (Séances des 19 février, 2 avril et 29 mai 1879.)

Le nombre des tronçons paraît donc sans influence sur la transmission de la détonation, si les tronçons restent jointifs.

IV. — Vitesse de transmission de la détonation.

La vitesse de transmission de la détonation dans les tubes détonants en plomb étiré a pu être mesurée au moyen de chronographes électriques. On entourait, à cet effet, des points déterminés des tubes soumis aux essais de fils très fins, traversés chacun par un courant électrique et destinés à être brisés lors du passage de la détonation, et le chronographe, muni d'enregistreurs spéciaux, faisait connaître les instants précis de la rupture de chacun des fils.

On a fait usage, pour les expériences, tantôt d'un chronographe à diapason et à cylindre tournant (séance du 10 mars 1879), tantôt d'un chronographe de chute (séances des 15 et 19 mai 1879); les enregistreurs employés étaient toujours des enregistreurs Marcel Deprez, dont le retard de fonctionnement était mesuré chaque fois, de façon à en tenir compte exactement.

On a opéré sur des bouts de 20^{m} à 40^{m}, que les fils partageaient en tronçons à peu près égaux, mesurant, par suite, suivant le cas, chacun $6^{m},60$ ou $13^{m},30$ de longueur environ.

Les premières mesures ont été prises avec des tubes en plomb; on n'a pas noté la densité du coton-poudre, mais elle devrait être comprise entre 1,1 et 1,2; les tubes étaient parfois formés de 3 tronçons raccordés par des manchons en laiton, sans qu'on ait noté, d'une façon spéciale, les points où se trouvaient ces manchons.

La vitesse obtenue a varié de 3200^{m} à 4500^{m} par seconde; sa valeur moyenne a été de 4060^{m}.

En opérant sur un tube de 40^{m} de longueur dont l'âme avait une densité de 1,47 environ, on a trouvé une vitesse moyenne de 5000^{m}, ce qui semblerait indiquer que la vitesse de transmission augmente avec la densité, mais ce tube était en étain.

V. — Combustion des tubes détonants.

En enflammant le coton-poudre contenu dans un tube détonant de 4^{mm} de diamètre extérieur, au moyen d'un corps en ignition approché de son extrémité, on a toujours vu, dans les expériences faites par la commission, le coton-poudre brûler en fusant et la combustion s'arrêter à quelques centimètres du bout enflammé quand le tube était à la température ordinaire.

Quand le tube est chauffé préalablement, la combustion se propage plus loin et elle peut durer assez longtemps si l'on maintient l'extrémité du tube sur une source de chaleur comme une lampe à alcool. (Séances des 19 février et 4 juin 1879.)

On obtient également une combustion de longue durée en perçant un tube de trous d'aiguille distants de quelques centimètres. (Séance du 4 juin 1879.)

Si l'on chauffe fortement un point d'un tube, autre que l'extrémité, par exemple en plaçant ce point dans la flamme d'une lampe, il se produit une petite explosion comme celle d'une capsule, dès que le plomb est porté à une température suffisante.

Le plomb est alors crevé sur une longueur de 2^{cm} à 3^{cm} de chaque côté du point chauffé; en outre, le coton-poudre prend feu et brûle en fusant jusqu'à quelques centimètres de ce point sur chaque tronçon; la combustion s'étend plus loin si les extrémités du tube tronçonné par l'explosion sont restées au-dessus de la source de chaleur; mais elle s'éteint sans produire de détonation si le tube n'est pas chauffé sur toute sa longueur. (Séances des 19 février

et 4 juin 1879.) En jetant dans un foyer ardent un bout de tube enroulé en hélice, on obtient une série de décrépitations produites par des explosions partielles; en chauffant, au contraire, lentement et uniformément un bout de tube, on peut obtenir une explosion unique. (Séance du 4 juin 1879.)

Ces observations ne s'appliquent qu'à des tubes de 4^{mm}. En enflammant du coton-poudre contenu dans des tubes de plus fort diamètre, à la température ordinaire, on a obtenu le plus souvent une simple combustion, mais on a pu aussi observer, dans ce cas, une explosion complète au bout d'un certain temps de combustion.

Il est prudent d'admettre, d'après ces expériences, que, dans certaines conditions, l'inflammation des tubes détonants peut provoquer une explosion, du moins si elle est accompagnée d'une élévation de température de la masse, mais il paraît probable que, le plus souvent, l'inflammation ne provoquera qu'une combustion partielle, avec petites explosions localisées.

VI. — Effets des chocs.

Le choc d'un corps dur, comme celui d'un marteau sur une enclume ou celui d'un mouton tombant verticalement sur un corps dur, avec interposition d'un bout de tube détonant, écrase le tube sans en provoquer l'explosion; du moins, on n'a pas pu produire d'explosion avec un mouton du poids de 20^{kg} tombant d'une hauteur de près de 3^{m}, ni avec un marteau de forgeron manié à toute volée.

L'explosion d'un tube détonant ou celle de charges de coton-poudre ou de dynamite ne détermine pas l'explosion de tubes détonants semblables, placés dans le voisinage sans liaison spéciale.

Le choc d'une balle de fusil modèle 1874, tirée à petite distance (10^{m} environ), a déterminé l'explosion d'un bout de tube détonant enroulé en spirale, placé au contact d'une cible métallique. (Séance du 3 juin 1879.)

Le choc d'une balle semblable, tirée également à petite distance contre une bobine garnie d'une cinquantaine de mètres de tubes détonants non recouverts de tresse, a provoqué l'explosion partielle du tube; la détonation ne s'est pas transmise à la bobine

entière, par suite, sans doute, de l'écrasement des spires dans le voisinage des parties qui ont fait explosion; mais le feu s'est mis au coton-poudre et la combustion, tant par suite de l'élévation de température du plomb que par suite peut-être des perforations produites par l'explosion partielle, a pu se prolonger pendant près d'une heure, avec accompagnement de petites détonations semblables au bruit produit par de faibles capsules; tout le tube n'a cependant pas été comburé. (Séance du 3 juin 1879.)

VII. — Bifurcation des tubes détonants.

Pour pouvoir transmettre la détonation à plusieurs charges successives, il est nécessaire de pouvoir produire tout au moins des ramifications par bifurcation des tubes détonants.

On a cherché de différentes manières à obtenir ce résultat.

On a essayé d'abord des raccords en forme de T, à branches perpendiculaires, puis en forme de Y à branches écartées de 120° et enfin à forme de Y dont les branches destinées à recevoir les dérivations étaient écartées de 60°, puis de 45° seulement.

Les bouts des tronçons à raccorder étaient engagés chacun dans une des branches du raccord, et amenés en contact au point de rencontre de ces branches; ils étaient fixés par une sertissure pratiquée au bout de chaque branche.

Ces différents raccords ont produit parfois la transmission cherchée, mais sans réussir à l'assurer. (Séances des 20, 25 et 27 février 1879.)

On n'a pas obtenu de meilleurs résultats en employant des raccords dont les branches étaient renforcées par une double épaisseur dans la partie centrale. (Séance du 11 mars 1879.)

On a essayé également des raccords formés de deux petites douilles cylindriques, soudées contre une douille centrale de 6^{mm}, destinée à recevoir une capsule dans laquelle débouchait l'extrémité du tube excitateur, de façon à former un relai de dérivation.

Cette disposition a produit quelquefois l'effet cherché, mais sans l'assurer complètement.

On n'a pas mieux réussi en doublant d'une enveloppe extérieure les douilles du relai à capsules. (Séances des 14 mars et 9 avril 1879.)

On s'est arrêté finalement à l'emploi des petites pièces de raccord qui ont été dénommées manchons de dérivation.

Ce sont de simples douilles en laiton de $0^{mm},2$ d'épaisseur et de 3^{cm} de longueur, cylindriques à un bout au diamètre de $4^{mm},1$ intérieurement, évasées à l'autre bout, de façon à pouvoir recevoir deux bouts de tubes détonants juxtaposés.

Pour s'en servir, on introduit d'abord, dans la partie la plus large, deux bouts de tube coupés en sifflet, que l'on juxtapose de façon que les parties mises à nu soient amenées en contact et que l'on pousse jusqu'à ce qu'ils s'engagent dans la partie rétrécie. On les fixe alors par une sertissure sur l'extrémité de la douille, puis on engage, par le petit bout, l'extrémité du tube excitateur que l'on pousse au contact des deux premiers et que l'on fixe par sertissure.

En cas de pluie, il convient de boucher avec un peu de cire ou de mastic l'entrée de la douille la plus large.

Le manchon de dérivation peut aussi, pour plus de précaution, être recouvert d'un tube de caoutchouc dont les bouts, après avoir été relevés pour faire le sertissage, se rabattent ensuite sur les joints.

On peut faciliter le montage du raccord et le bouchage des joints que forment les deux tubes jointifs en employant des manchons, dont l'entrée élargie présente deux sillons dessinant le logement cylindrique des deux tubes ou même des manchons formés de deux bouts de tubes coupés en sifflet et soudés sous un angle très aigu sur le bout du tube destiné à recevoir le tube excitateur.

Les manchons de dérivation permettent de transmettre simultanément aux deux branches engagées dans la grande douille la détonation qui est produite dans le tube excitateur engagé dans la petite douille. (Séances des 14 mars, 2 avril et 15 mai 1879.)

Chacun des embranchements ainsi obtenus peut devenir à son tour tube excitateur pour de nouvelles dérivations et l'on peut obtenir ainsi des ramifications en nombre illimité.

Les branches dérivées peuvent être recourbées brusquement à la sortie du manchon de dérivation et suivre une direction quelconque.

On s'est assuré, en produisant des bifurcations successives, que

la détonation ne paraît pas s'affaiblir en se ramifiant de cette façon. (Séance du 2 avril 1879.)

A défaut de manchon de dérivation, on peut produire une dérivation, en fixant par une ligature, contre un tube détonant, le bout d'un autre tube dont l'âme a été dénudée, d'un côté, par l'enlèvement de la paroi sur une longueur de 3^{cm} à 4^{cm}.

Cette section se fait aisément avec un canif.

On doit placer ce second tube de façon que le coton-poudre, mis à nu, soit en contact direct avec la paroi en plomb du tube excitateur qu'il est inutile alors de dénuder. On laisse à l'extrémité de la dérivation un bout de tube intact pour consolider l'assemblage.

Ce procédé a l'inconvénient de mettre à nu l'âme du tube dérivé qui peut absorber l'humidité et dès lors ne plus détoner. On peut opérer encore en enlevant seulement, avec un canif, une portion de l'épaisseur de la paroi en plomb du tube excitateur et de sa dérivation, et mettant en contact les parties ainsi affaiblies que l'on maintient avec une ligature; mais cette opération exige une certaine habileté pour être faite sans mettre le coton-poudre à nu et de façon à obtenir néanmoins un bon fonctionnement. (Séance du 29 mai 1879.)

VIII. — Ramifications simultanées de tubes détonants.

Pour simplifier les opérations d'installation des bifurcations successives, lorsqu'on doit produire un assez grand nombre de ramifications, on a cherché à obtenir des ramifications multiples simultanées, en un même point d'un tube détonant.

On a essayé des relais à capsule formés d'une douille centrale recevant une capsule dans laquelle débouchait le tube excitateur et portant, soudées extérieurement, 4, 5, 6 et 7 douilles destinées à recevoir les extrémités des dérivations.

Ces douilles extérieures étaient tantôt libres, tantôt contenues dans une enveloppe générale en laiton qui les renforçait.

Les résultats donnés par ces relais à capsules n'ont pas toujours été assurés; souvent la détonation de toutes les branches dérivées s'est produite, mais souvent, aussi, une ou deux branches sont restées sans détoner et n'ont été que projetées à faible distance avec arrachement de la partie primitivement engagée dans la

douille du raccord et écrasement de la partie voisine conservée. (Séances des 11 et 14 mars, 2 et 9 avril 1879.)

Ces résultats variables paraissent dus à l'épaisseur des parois des tubes.

On a réussi, au contraire, à produire jusqu'à sept ramifications simultanées, en employant les relais à capsule à douille conique.

Ces relais se composent d'une douille centrale qui reçoit une capsule dans laquelle s'engage l'extrémité du tube excitateur et d'une enveloppe conique soudée sur cette douille et dans laquelle on peut introduire les extrémités coupées en sifflet de 7 bouts de tube destinés à former dérivations. On doit avoir soin que les parties dénudées par l'entaille oblique, que l'on pratique aisément avec un canif, soient mises en contact direct avec la douille centrale de la capsule.

Les bouts du tube ainsi mis en place sont fixés, au moyen d'une ligature, sur la douille centrale qui dépasse, à cet effet, d'une quantité convenable, l'enveloppe conique.

Chacune des dérivations ainsi préparées peut être choisie pour devenir, à son tour, un tube excitateur recevant, en un point quelconque de son parcours, un nouveau relai de dérivation semblable. (Séances des 8 et 15 mai 1879.)

Si l'on veut produire un nombre de ramifications inférieur à 7, on peut se servir des mêmes relais, en substituant aux dérivations inutiles des bouts de tubes inertes ou des fragments de bois.

On peut aussi employer des relais dont les enveloppes coniques portent des sillons emboutis déterminant la place de chacun des tubes dérivés; avec ces relais, on peut laisser inoccupés les logements inutiles.

On a pu, enfin, produire plus simplement encore des dérivations simultanées, sans relai de détonation, en employant des raccords à enveloppe conique.

Ces raccords se composent d'une douille centrale cylindrique de $4^{mm},1$ de diamètre que traverse simplement le tube excitateur et sur laquelle est soudée une enveloppe conique qui peut recevoir les extrémités; taillées en sifflet, de 6 bouts de tube destinés à former dérivations.

Les tubes se préparent et se fixent comme il a été dit plus haut pour le relai à capsule de forme analogue. Le tube excitateur se

continuant au delà du raccord, on obtient le même nombre de ramifications que précédemment. (Séance du 15 mai 1879.)

Ces raccords peuvent être disposés aussi avec nervures pour réserver la place à chaque tube dérivé.

Dans ce cas, si l'on veut produire moins de 6 dérivations, on laisse simplement vides les logements inutiles; dans le cas des enveloppes sans nervures, on substitue aux tubes inutiles des bouts de tube inertes ou des fragments de bois.

Si l'on veut se borner à 4 ramifications, on peut aussi employer des raccords, formés de 4 bouts de tubes coupés en sifflet et soudés sous un angle très aigu sur un bout de tube principal.

A défaut de raccord à enveloppe conique, on peut provoquer des ramifications simultanées par une disposition de fortune, en fixant par une ligature, soit sur une capsule, soit même directement sur le tube excitateur, les extrémités des tubes destinés à former dérivation, dont on enlève avec le canif une portion de paroi sur une longueur de 3^{cm} à 4^{cm}, de façon à dénuder légèrement l'âme.

On doit avoir soin de placer la partie dénudée bien en contact avec la capsule ou avec le tube excitateur placé au centre et l'on réserve, à l'extrémité de chaque tube dérivé, une portion non entaillée pour donner plus de solidité à l'assemblage.

Cette disposition exige une certaine habileté de la part de l'opérateur et présente plus de difficultés pour préserver de l'humidité les bouts de tube tronçonnés. (Séance du 15 mai 1879.)

On peut produire encore des ramifications de détonation simultanées en ayant recours à l'intermédiaire de charges de coton-poudre ou de dynamite formant relais; ces dispositifs sont indiqués dans le chapitre suivant.

CHAPITRE III.

EMPLOI DES TUBES DÉTONANTS POUR PROVOQUER L'EXPLOSION DE CHARGES DIVERSES.

I. — Transmission du feu à des charges de poudre.

On peut transmettre le feu à des charges de poudre noire ordinaire, au moyen de tubes détonants dont l'extrémité débouche simplement dans la charge.

Dans les expériences faites par la commission, la détonation du tube a toujours provoqué l'inflammation d'une charge de poudre quand cette charge était renfermée dans une enveloppe résistante; on a pu obtenir aussi l'inflammation de charges simplement placées dans des gargousses en papier (séances des 5 février et 2 avril 1879); toutefois, dans une expérience, de la poudre de mine placée dans une gargousse en serge, simplement posée elle-même en plein air sur un appui, a été dispersée sans être enflammée. (Séance du 15 mai 1879.)

II. — Transmission de la détonation à des charges de coton-poudre.

Les essais faits par la commission ont porté uniquement sur des charges de coton-poudre comprimé provenant de l'usine du Moulin-Blanc.

En opérant sur du coton-poudre comprimé, parfaitement sec, on a pu provoquer la détonation directement au moyen d'un tube détonant débouchant au milieu de la charge.

Lorsqu'on opère sur des cartouches métalliques remplies de coton-poudre sec, le tube détonant peut simplement être engagé dans la douille métallique réservée pour l'introduction de la capsule fulminante. On le fixe dans cette douille au moyen d'une petite éclisse en bois.

On peut obtenir ainsi une détonation complète, comme on l'a

vérifié en plaçant, sous des cartouches contenant environ 100^{gr} de coton-poudre sec, des plaques de 12^{mm} d'épaisseur qui ont été nettement découpées à l'emplacement des cartouches. (Séance du 15 mai 1879.)

Mais il arrive souvent, probablement quand le coton-poudre n'est pas parfaitement sec, que la détonation ne se produit pas et que le coton-poudre prend feu sans détoner. (Séances des 11 mars, 2 avril et 15 mai 1879.)

Par suite de la difficulté de s'assurer de l'état de siccité du coton-poudre, il vaut mieux employer l'intermédiaire d'une capsule fulminante avec lequel on est certain de provoquer la détonation du coton-poudre. (Séance du 15 mai 1879.)

On doit donc engager l'extrémité du tube détonant dans une capsule que l'on fixe par sertissure et l'on introduit ensuite cette capsule, comme à l'ordinaire, dans la charge de coton-poudre.

Un tube détonant fixé par une ligature contre le côté extérieur d'une cartouche métallique, renfermant du coton-poudre sec, détériore cette cartouche sans provoquer la détonation, contrairement à ce qui aurait lieu avec la dynamite non gelée. (Séance du 5 mai 1879.)

Pour provoquer la détonation du coton-poudre humide ou du coton-poudre paraffiné, il faut faire usage d'une charge d'amorce sèche convenable dont on provoque la détonation, comme il vient d'être dit, au moyen d'une capsule placée à l'extrémité du tube détonant.

III. — Transmission de la détonation à des charges de dynamite.

Il n'a été fait d'essai que sur la dynamite n° 1 de Vonges.

La détonation d'un tube détonant provoque celle d'une cartouche de dynamite de cette espèce à enveloppe de papier, dans laquelle il est directement engagé à la place habituellement occupée par la capsule. (Séances des 20 et 27 février et 2 avril 1879.)

La détonation peut même se produire avec la dynamite gelée si le tube détonant est suffisamment engagé dans la charge; toutefois, il n'a pas été fait d'essai avec la dynamite fortement gelée. (Séances des 20 février et 2 avril 1879.)

La détonation se transmet également dans le cas d'une cartouche

métallique avec douille pour la capsule, si l'extrémité du tube détonant est simplement engagée dans la douille à la place de la capsule. On le maintient alors avec une simple éclisse en bois. (Séances des 1er et 15 mai 1879.)

La détonation d'un tube détonant se transmet également à une cartouche en papier ou à une cartouche métallique le long de laquelle il est simplement appliqué et maintenu par une ligature; elle se transmet encore à une cartouche en papier autour de laquelle le tube est enroulé en hélice formant 1 ou 2 tours. (Séances des 20 et 27 février 1879.)

Toutefois, dans ces différents cas, on n'obtient de réussite assurée que si la dynamite n'est pas gelée.

On provoque sûrement la détonation d'une cartouche de dynamite, alors même qu'elle est gelée, en employant l'intermédiaire de la capsule fulminante spéciale, dite capsule renforcée, dont on fait usage habituellement. (Séance du 20 février 1879.)

On opère alors comme pour le coton-poudre, en engageant l'extrémité du tube détonant dans la capsule fulminante que l'on fixe par sertissure et introduisant ensuite cette capsule dans la charge de dynamite.

Dans la pratique, quand la dynamite ne sera pas gelée, on pourra se dispenser de l'emploi de la capsule.

IV. — Transmissions en cascades.

La détonation d'une charge de coton-poudre se transmet à un tube détonant dont l'extrémité y est plongée et ce tube est apte à son tour à provoquer de nouvelles détonations. (Séances des 2 avril et 15 mai 1879.)

La détonation d'une charge de dynamite se transmet de même à un tube détonant dont l'extrémité y est plongée et ce tube est apte également à provoquer ensuite de nouvelles détonations. (Séances des 2 avril, 1er et 15 mai 1879.)

On peut donc, au moyen de tubes détonants, provoquer des détonations, en cascade, de charges successives de coton-poudre ou de dynamite ou de l'un ou de l'autre de ces explosifs alternativement.

Seulement, si l'on emploie du coton-poudre, il sera prudent de

munir de capsules les charges qui doivent recevoir la détonation par l'intermédiaire des tubes, mais seulement aux points d'arrivée de ces tubes. Cette précaution sera inutile avec la dynamite, à moins qu'elle ne soit gelée.

On s'est assuré, en posant à plat, sur des plaques de tôle de 12^{mm} d'épaisseur, une série de cartouches de dynamite, reliées en cascade par des bouts de tube détonant, que la détonation continue à se propager, de charge en charge, sans affaiblissement apparent.

La dernière cartouche, comme la première, a découpé nettement son empreinte dans la plaque. (Séances des 1er et 15 mai 1879.)

La transmission de la détonation de charges en charges, produite de cette façon, paraît assez rapide pour que les détonations de deux charges contiguës puissent être considérées, dans la pratique, comme simultanées.

On s'est assuré de ce fait, en produisant, à deux reprises, par ce procédé, la détonation de deux charges de dynamite réunies par un bout de tube de 4^{m} de longueur environ et placées symétriquement au contact d'une même pièce de fer de façon à se trouver en opposition.

Les détonations se sont équilibrées très sensiblement sur la face interposée entre les deux cartouches et ont présenté tous les caractères d'une simultanéité à peu près complète. (Séances des 1er et 15 mai 1879.)

On sait que la même expérience, tentée au moyen d'une mise de feu électrique, réussit difficilement par suite des différences qui peuvent exister entre les retards d'inflammation de deux amorces électriques données.

V. — Ramifications par relais chargés de coton-poudre ou de dynamite.

On peut utiliser l'action réciproque des charges de coton-poudre ou de dynamite sur les tubes détonants pour provoquer des ramifications multiples et simultanées de détonation au moyen de relais constitués par de petites charges de ces substances.

On a employé d'abord de petites boîtes cylindriques en laiton,

renfermant une charge de 30^{gr} environ de l'explosif choisi et pourvues de petites douilles soudées dans le sens des rayons. Ces douilles recevaient les extrémités des tubes destinés à former dérivation, qui y étaient fixés par sertissure.

Pour le coton-poudre, le tube excitateur devait aboutir, pour plus de sûreté, dans une capsule placée dans une douille centrale; pour la dynamite, on pouvait le faire traverser simplement, sans capsule, le centre de la boîte.

On a trouvé ultérieurement plus commode et plus sûr de souder les douilles de raccord sur le contour même de la boîte, suivant des génératrices; les extrémités des tubes destinés à former dérivations sont alors simplement engagées dans ces douilles et ces tubes sont fixés chacun en en recourbant le bout qu'on laisse dépasser de 1^{cm} ou 2^{cm}.

Les boîtes renfermant du coton-poudre sec doivent être munies, pour plus de sûreté, d'une douille centrale destinée à recevoir une capsule fulminante dans laquelle on fait déboucher le tube excitateur.

Les boîtes renfermant de la dynamite peuvent être dépourvues de douilles de ce genre, à la condition de ne pas employer de la dynamite gelée. On peut alors faire passer simplement le tube excitateur dans l'une des douilles latérales.

On a pu, avec des boîtes de relai ainsi disposées, provoquer jusqu'à 12 ramifications simultanées; ce nombre paraît d'ailleurs susceptible d'être dépassé facilement en cas de besoin. (Séance du 14 mars 1879.)

CHAPITRE IV.

EXEMPLES D'APPLICATION DES TUBES DÉTONANTS. CO AVEC LES AUTRES MODES DE MISE DE FEU

§ I.

EXEMPLES D'APPLICATION.

Le faible volume des tubes détonants et leur facil ment qui les rendent comparables aux cordeaux de tion du feu habituellement employés, ainsi que la po raccorder entre eux suivant les besoins, bout à bou à produire des ramifications simples ou multiples, réaliser avec ces tubes les différents dispositifs de dont on peut avoir à faire usage dans la pratique.

Ils présentent l'avantage de n'exiger aucun com feux, par suite de l'extrême rapidité de transmis effets, rapidité qui atteint et même dépasse celle de des vibrations et des effets moléculaires par le sol les supports métalliques usuels.

La commission a eu l'occasion, dans ses expérien l'application de ces tubes détonants à des explosi préparées pour des ruptures simultanées d'obstacles divers, tels que rails de voies ferrées, fers à T, poteaux télégraphiques, pièces de bois équarries (séance du 15 mai 1879); elle a pu simuler aussi le dispositif de mise de feu pour la destruction d'un tunnel, par l'explosion simultanée de 4 fourneaux de mine placés dans deux puits symétriques, et celui de la destruction d'un pont, par l'explosion simultanée de 4 fourneaux de mine sur chacune des piles. (Séance du 2 avril 1879.)

Elle a pu également produire la destruction d'une voie ferrée par la méthode réglementaire, c'est-à-dire par l'explosion simultanée de 4 charges de 200^{gr} chacune de dynamite convenablement placées. (Séance du 15 mai 1879.)

Ces exemples indiquent suffisamment les dispositions que l'on pourrait adopter dans chaque cas particulier.

---

§ II.

COMPARAISON AVEC LES AUTRES MODES DE MISE DE FEU.

Les modes de mise de feu rapide qui peuvent être comparés à l'emploi des tubes détonants sont les mèches dites instantanées et les conducteurs électriques.

I. — Mèches instantanées.

Le service du génie emploie, sous le nom de cordeau porte-feu ou fusée instantanée, des cordeaux formés de 3 brins de mèche à étoupille, recouverts d'enveloppes en toile cirée et en caoutchouc et d'un tressage en ficelle. Ce cordeau possède une vitesse de combustion que l'on évalue à 100^{m} environ à la seconde.

On fait usage, dans l'industrie, de mèches dites instantanées, fabriquées par la maison Davey-Bickford de Rouen, qui sont constituées à peu près de la même façon, mais dont le diamètre est moindre.

M. Davey fabrique aussi des mèches lentes dont l'âme, au lieu d'être formée de 3 brins de mèche à étoupille, est constituée par une série de grains de poudre régulièrement espacés; il prétend, par l'espacement de ces grains de poudre, pouvoir régler à volonté la vitesse de combustion des mèches et la faire varier entre des limites très étendues depuis 50^{m} à la minute jusqu'à 50^{m} environ à la seconde.

En combinant ces mèches lentes avec les mèches instantanées, il pense pouvoir obtenir des vitesses variant depuis cette dernière limite jusqu'à 200^{m} et au delà.

Enfin, il a préparé récemment des mèches instantanées avec lesquelles il espérait obtenir encore de plus grandes vitesses et dont l'âme est formée de 3 brins de mèche d'un coton-poudre imprégné de chromate de potasse, qu'il désigne sous le nom de *fulmi-coton Davey*.

Toutes ces mèches, ainsi que le cordeau porte-feu du génie,

s'allument simplement au moyen d'un corps en ignition et transmettent le feu et non la détonation.

Elles peuvent enflammer directement la poudre noire, mais elles ne peuvent provoquer l'explosion de la dynamite et du coton-poudre que par l'intermédiaire de capsules.

La combustion de ces mèches produit une série de petites explosions, provoquant successivement la rupture de l'enveloppe qui les recouvre. Ces explosions déterminent sur le cordeau une succession d'efforts de traction assez violents, qui tendent à déranger et à rompre les communications; l'enveloppe déchirée qui reste sur place après la combustion de l'âme est beaucoup plus courte que la longueur primitive du cordeau; cet effet de retrait brusque, désigné sous le nom de coup de fouet, paraît encore plus sensible avec les mèches au coton-poudre.

On a essayé de mesurer les vitesses de combustion de mèches instantanées Bickford, par le procédé qui a été décrit déjà pour les tubes détonants, c'est-à-dire en recevant sur un chronographe les traces données par de petits enregistreurs électriques, mis en mouvement, au moment du passage de la combustion, en des points déterminés des mèches employées; seulement, dans ces expériences, l'interruption du courant électrique de chaque enregistreur était produite par la fusion de petits fils d'étain passés, de distance en distance, au travers du cordeau.

Dans les premiers essais de mesures de ce genre, on n'avait pas pris de précautions suffisantes pour fixer solidement les parties des cordeaux traversées par ces fils; il en est résulté que le retrait, provoqué par l'explosion des premières fractions des cordeaux, a causé parfois la rupture des fils suivants, avant l'arrivée de la combustion aux points qu'ils occupaient; les résultats ont, par suite, été entachés d'erreurs et parfois même se sont trouvés complètement inadmissibles. On a trouvé ainsi des vitesses très variables et certainement plus fortes que les vitesses réelles.

Après avoir pris des précautions pour éliminer ces causes d'erreurs, on a obtenu, au contraire, des vitesses assez régulières, mais beaucoup plus faibles que celles qu'espérait obtenir M. Davey.

La vitesse d'un échantillon de mèche instantanée, dont l'âme était constituée par de la mèche à étoupille, a été comprise entre 147^{m} et 186^{m} par seconde.

La vitesse d'un échantillon de mèche au coton-poudre a été comprise entre 81^{m} et 85^{m}. (Séance du 20 mai 1879.)

Les mèches instantanées peuvent se raccorder et s'embrancher à l'aide d'épissures, en ayant soin de mettre bien en contact l'âme de chacun des bouts ainsi réunis et d'introduire une pincée de poudre au point de réunion de plusieurs mèches; ces liaisons exigent une certaine habileté dans l'exécution; elles peuvent, toutefois, être facilitées au moyen d'appareils spéciaux appelés multiplicateurs.

Il ressort de ces indications que l'emploi des mèches dites instantanées doit être, dans la pratique, inférieur à celui des tubes détonants, au moins quand il s'agit de transmettre la détonation à des charges de coton-poudre et de dynamite employées pour des démolitions de constructions métalliques.

La vitesse de transmission ne pourrait, en effet, être considérée comme suffisante pour cette application, alors même qu'elle atteindrait réellement 200^{m} par seconde; en outre, des retards variables se produiront dans la transmission du feu à chaque capsule, et d'autres causes de retard existent encore dans les transmissions aux points de raccordement et d'embranchement des mèches.

Il en résulte que les dernières charges peuvent être dérangées par la transmission des vibrations produites par l'explosion des premières avant que la combustion de la mèche ne les enflamme elles-mêmes.

Lorsqu'on emploie la dynamite ou le coton-poudre, dont les effets de rupture ne s'exercent bien qu'au contact, ce déplacement peut s'opposer absolument à la réussite de l'opération. On ne peut donc employer sûrement les mèches instantanées qu'avec la poudre ordinaire et encore ne peut-on, avec elles, obtenir de transmission du feu d'un fourneau de mine à un autre.

II. — Mise de feu électrique.

Dans la mise de feu électrique, on serait tenté de croire que l'inflammation de plusieurs charges est plus rapide et plus simultanée qu'avec les tubes détonants.

A la réflexion, on reconnaît qu'il en peut être différemment.

La mise de feu électrique ne s'opère pas simplement, en effet,

par le passage du courant dans la masse de poudre à enflammer, mais ce courant doit provoquer l'inflammation d'une amorce qui, à son tour, doit déterminer l'explosion de la charge ou de la capsule fulminante destinée à faire détoner cette dernière.

Or, si l'on opère avec les amorces à fil de platine, qui sont les seules qui présentent assez de sécurité d'emploi pour les usages militaires, il est facile de s'assurer que l'inflammation de ces amorces exige un temps très appréciable et qui varie sensiblement de l'une à l'autre ou lorsque les conditions d'établissement des circuits varient elles-mêmes.

Il faut, en effet, que le fil inflammateur s'échauffe par le passage du courant et parvienne à une température déterminée pour provoquer l'inflammation de la substance sensible placée en contact avec lui et qui forme l'allumeur de l'amorce. Ce phénomène demande, pour se produire, un temps qui, quoique très court, peut être mesuré et qui varie avec l'intensité du courant, la nature et la disposition du fil de platine et le choix de l'allumeur.

En employant le chronographe de chute qui a servi aux mesures de la vitesse de transmission de la détonation dans les tubes en plomb chargés de coton-poudre, on a pu, dans des expériences faites par le service de l'artillerie de la marine, mesurer le temps qui s'écoule entre le moment où l'on ferme le circuit d'une pile d'inflammation et celui où une amorce électrique, placée dans ce circuit, prend feu et produit un effet mécanique.

On a trouvé ainsi que, dans les conditions habituelles de la pratique, des amorces électriques ordinaires présentent, sur le moment de la fermeture du circuit dans lequel elles sont placées, un retard d'inflammation qui est voisin de $\frac{1}{100}$ de seconde; si la pile est trop faible, ou la résistance du circuit trop grande, ce retard peut s'élever à $\frac{1}{10}$ de seconde et même plus; il varie sensiblement d'une amorce à l'autre par suite des variations possibles dans les détails de construction. En prenant des soins particuliers et améliorant le mode de confection des amorces, on a pu, dans les mêmes conditions d'établissement du circuit d'inflammation, abaisser ce retard de $\frac{1}{100}$ à $\frac{1}{500}$ de seconde.

On conçoit, d'après ces données, que, si l'on installe un dispositif de mise de feu électrique pour l'inflammation de différentes charges, les inflammations des amorces pourront se produire à

des intervalles de temps atteignant aisément plusieurs millièmes de seconde, tant par suite de variations dans leurs éléments que par suite de différences dans la résistance de leurs circuits individuels, et ces écarts dépendront aussi de la force de la pile et de la résistance totale du circuit.

Dans ces conditions, on pourra rencontrer les mêmes difficultés qu'avec l'emploi des mèches dites instantanées pour provoquer l'explosion simultanée de plusieurs charges et c'est, en effet, ce qui a été observé dans diverses expériences et notamment par la commission de la dynamite à Versailles.

Dans l'emploi des tubes détonants, la transmission de la détonation aux charges de dynamite ou de coton-poudre, soit qu'elle s'opère directement, soit qu'elle s'effectue par l'intermédiaire de capsules fulminantes, paraît se produire avec la même rapidité que la transmission de la détonation dans les tubes eux-mêmes, ou du moins ne comporter que de très faibles retards, et ces tubes ont donné aux essais, sous ce rapport, plus de sécurité d'emploi que les appareils de mise de feu électrique.

Les tubes détonants ont encore, sur ces derniers appareils, l'avantage d'exiger moins de connaissances spéciales pour leur maniement et d'être, par suite, plus à la portée du personnel dont on peut disposer à la guerre.

Ils dispensent de l'emploi des piles dont le transport et l'entretien constituent une difficulté sérieuse en campagne; mais, d'un autre côté, comme ils sont détruits à chaque coup de feu, ils peuvent se prêter moins bien que les conducteurs électriques à des mises de feu à grande distance, surtout si l'on doit effectuer plusieurs opérations successives au même endroit.

On sera donc conduit, dans certains cas, comme on l'a fait déjà pour les cordeaux porte-feu, à combiner ensemble les deux systèmes de mise de feu, en employant les conducteurs électriques pour provoquer l'inflammation de la capsule excitatrice de tubes détonants, lesquels seront alors réservés pour l'établissement des ramifications dans le voisinage immédiat de la mine.

Conclusions.

Les cordeaux détonants formés d'un tube en plomb étiré, re-

couvert de tresse, et renfermant une âme de coton-poudre, préparée au moyen de la cellulose friable, paraissent devoir présenter, dans la pratique, de notables avantages sur les procédés de mise de feu rapide déjà connus et ils permettront, sans doute, de réaliser des effets qu'on n'avait pas pu produire jusqu'à ce jour.

Bien que les études entreprises sur ces cordeaux ne soient pas complètes et qu'il reste encore à approfondir certaines questions qui s'y rattachent, la commission a pensé qu'il y avait avantage à porter le plus tôt possible à la connaissance des services intéressés les faits déjà acquis et qui font l'objet du présent rapport.

Elle se propose, du reste, de continuer ses recherches et de faire connaître ultérieurement, s'il y a lieu, les données nouvelles qui pourront résulter de ce complément d'études.

En dehors des essais d'emploi pratique qui restent à faire sur les cordeaux détonants et qui ne peuvent être effectués que par les services mêmes qui seront appelés à en faire usage, les questions qui exigent de nouvelles études sont : celle de l'amélioration des procédés d'étirage ou de l'amélioration des procédés de fabrication du coton-poudre spécial, pour diminuer la fréquence des ruptures lors de l'étirage, celle de la conservation des cordeaux sous des influences climatériques diverses, celles, enfin, qui se rattachent à la mesure de la vitesse de transmission de la détonation et qui comprennent la recherche des conditions variables qui peuvent influer sur cette vitesse.

A ce rapport est jointe une note résumant les renseignements qu'il contient sur les propriétés et le mode d'emploi des tubes et cordeaux détonants. Cette note a pour but de donner les indications nécessaires pour permettre aux différents services intéressés d'étudier les applications dont ces engins sont susceptibles ; mais elle ne devra être considérée que comme un document provisoire que les expériences complémentaires que la commission doit exécuter conduiront sans doute à modifier sur certains points.

Paris, 3 juillet 1879.

ANNEXE A.

NOTE SOMMAIRE SUR LES PROPRIÉTÉS ET L'EMPLOI DES TUBES ET CORDEAUX DÉTONANTS.

Les tubes et cordeaux détonants sont destinés à provoquer à distance, avec une grande rapidité, l'explosion de charges de poudre, de dynamite et de coton-poudre.

Les renseignements contenus dans cette note sur les propriétés et le mode d'emploi de ces engins sont répartis sous les titres suivants :

Mode de fabrication;
Propriétés;
Maniement et transports;
Effets de l'inflammation;
Effets des chocs;
Mode d'emploi; amorçage;
Effets de la détonation;
Ramifications simples;
Ramifications multiples;
Transmission du feu à des charges de poudre;
Transmission du feu à des capsules fulminantes; relais à capsule;
Transmission de la détonation à des charges de coton-poudre; relais au coton-poudre;
Transmission de la détonation à des charges de dynamite; relais à la dynamite;
Transmission en cascade à des charges de coton-poudre ou de dynamite;
Organisation de dispositifs de mise de feu.

I. — Mode de fabrication.

Les tubes détonants sont obtenus en étirant à la filière des tubes de plomb ou d'étain, préalablement remplis de coton-poudre pulvérulent, fabriqué par un procédé spécial. En recouvrant ensuite d'une enveloppe tressée, en chanvre, le tube flexible de faible diamètre ainsi obtenu, on transforme ces tubes en cordeaux détonants.

Les tubes sont amenés par l'étirage au diamètre extérieur de 4^{mm}; le diamètre intérieur varie de 2^{mm} à $2^{mm},5$, et la densité du coton-poudre qui forme l'âme, de 1,0 à 1,2.

L'enveloppe en tresse donne au cordeau un diamètre extérieur total d'environ 6^{mm}. Le poids du coton-poudre qui forme l'âme est d'environ 5^{gr} par mètre; le poids du tube étiré est d'environ 88^{gr} le mètre pour les tubes en plomb, et de 70^{gr} pour les tubes en étain; avec l'enveloppe de tresse, ce poids s'élève à 93^{gr} pour les premiers et 75^{gr} pour les tubes en étain,

mais ceux-ci sont habituellement employés sans être recouverts de tresse.

Les tronçons de tubes obtenus à l'étirage sont réunis au moyen de petits manchons en laiton mince, de $4^{mm},1$ de diamètre intérieur, dans lesquels on engage les deux bouts à assembler, en les amenant en contact vers le milieu du manchon et les fixant alors, au moyen de deux sertissures pratiquées vers les extrémités de ce dernier, à l'aide de la pince spéciale dont on fait usage avec les mèches lentes Bickford.

Les bouts de tube destinés à former des cordeaux détonants sont assemblés ainsi, avant de les faire recouvrir de tresse.

L'enveloppe de tresse se met en place à l'aide des machines employées pour protéger, de la même façon, les câbles électriques, dits câbles militaires.

Les cordeaux à tube intérieur en plomb sont livrés enroulés par bouts de 250^{m} de longueur, sur des bobines en bois montées sur un axe en fer. On peut porter à dos ces bobines, au moyen d'un crochet spécial muni d'une petite boîte destinée à recevoir les ustensiles nécessaires pour l'emploi des cordeaux.

La bobine pèse vide à peu près 1^{kg} et garnie environ 24^{kg}. Le poids du crochet est d'environ 3^{kg}.

La même bobine peut recevoir 300^{m} de tube en étain, non recouverts de tresse, sans dépasser le poids total de 24^{kg}, crochet non compris.

Le prix de revient des tubes, non recouverts de tresse, est d'environ $0^{fr},15$ le mètre pour les tubes en plomb, et $0^{fr},22$ pour les tubes en étain. Le prix de l'enveloppe de tresse s'est élevé à $0^{fr},09$ le mètre pour une première fabrication d'essai; mais ce prix paraît susceptible d'être abaissé au moins jusqu'à $0^{fr},05$.

II. — Propriétés.

Les tubes et cordeaux détonants n'agissent pas par transmission du feu, mais par transmission de la détonation; cette détonation pouvant d'ailleurs, suivant le cas, provoquer directement l'explosion de substances susceptibles elles-mêmes de détoner (fulminate de mercure, coton-poudre ou dynamite) ou produire simplement l'inflammation de charges de poudre ordinaire.

On provoque la détonation d'un tube ou d'un cordeau en faisant détoner une capsule fulminante de charge suffisante mise en contact avec son extrémité.

Cette détonation se transmet au tube entier avec une telle rapidité que l'effet paraît instantané.

Avec des appareils spéciaux, on a pu mesurer la vitesse de cette transmission; elle a été trouvée, en moyenne, égale à 4000^{m} à la seconde et ne

s'est jamais abaissée au-dessous de 3200^{m}; elle paraît croître, d'ailleurs, avec la densité du coton-poudre.

On peut, avec certaines précautions et dispositions spéciales, embrancher et ramifier les tubes ou cordeaux; la détonation provoquée sur l'une des branches se transmet aux autres avec la même rapidité.

Les tubes ou les cordeaux détonants peuvent enfin transmettre la détonation de charges en charges, même quand il s'agit de dynamite ou de coton-poudre.

On n'observe pas, du reste, de différences dans les effets entre les tubes nus et les cordeaux revêtus de leur enveloppe en tresse.

III. — Maniement et transport.

Les tubes recouverts de tresse peuvent être maniés sans grandes précautions et pliés en tous sens; on peut les enrouler sur un cercle de faible diamètre; ils sont assez difficiles à rompre par flexions répétées et résistent bien à la traction.

Les tubes en plomb non recouverts de tresse doivent être maniés avec plus de précautions que les tubes tressés, car ils sont plus fragiles; on les casse facilement en les pliant à angle vif; mais les tubes en étain sont, au contraire, suffisamment résistants pour être employés sans enveloppe.

On coupe facilement les cordeaux détonants avec un canif; on peut faire usage aussi, pour cette opération, de la partie coupante de la pince Bickford.

Pour préserver de l'humidité les extrémités de la charge des tubes, on ferme les bouts en les coiffant au moyen de capsules vides, en laiton embouti, au diamètre intérieur de $4^{mm},1$ que l'on fixe par sertissure et que l'on peut, par surcroît de précaution, placer avec interposition de vernis à la gomme laque.

A défaut de capsule, on peut encore fermer l'extrémité du tube par écrasement, au moyen d'une pince ou d'un marteau. On doit prendre alors la précaution de vider le tube sur une longueur de $0^{m},01$ à $0^{m},02$, au moyen d'une petite pointe, de façon à pouvoir l'aplatir plus facilement, et l'on peut, en outre, replier sur elle-même l'extrémité aplatie.

Les bobines de tubes et de cordeaux détonants peuvent être transportées sans précaution spéciale; il est prudent cependant, dans les envois, de les recouvrir d'une enveloppe en toile ou en cordage pour protéger la couche extérieure, surtout s'il s'agit de tubes nus.

IV. — Effets d'inflammation.

Bien que des tubes de gros diamètre remplis de coton-poudre puissent

détoner après quelque temps de combustion lente, les tubes étirés au diamètre de 4^{mm} brûlent en fusant, si l'on vient à enflammer la charge intérieure au moyen d'un corps en ignition.

Si le tube est à la température ambiante et que les parois n'en soient pas perforées, la combustion s'arrête à $0^{m},02$ ou $0^{m},03$ du bout enflammé; si le tube a été préalablement chauffé ou s'il est percé de petits trous régulièrement espacés, elle peut se propager plus loin.

Si l'on chauffe fortement un point d'un tube autre que l'extrémité, on obtient une petite explosion semblable à celle d'une capsule lorsque le plomb est porté à une température suffisante; le plomb est alors crevé sur une longueur de $0^{m},02$ à $0^{m},03$ de chaque côté du point chauffé; en outre, le coton-poudre peut prendre feu et brûler en fusant, jusqu'à quelques centimètres de ce point sur chaque tronçon.

En jetant dans un foyer ardent un bout de tube enroulé en hélice, on obtient une série de décrépitations produites par des explosions partielles; en chauffant, au contraire, lentement et uniformément un bout de tube, on peut obtenir une explosion unique.

Il est donc prudent d'admettre que dans certaines conditions l'inflammation de tubes détonants peut provoquer une explosion.

V. — Effets des chocs.

Un choc violent, comme celui d'un marteau frappant sur une enclume ou d'un mouton tombant verticalement sur un corps dur, avec interposition d'un bout de tube détonant, écrase le tube sans provoquer l'explosion; du moins, on n'a pas pu produire l'explosion avec un marteau du poids de 20^{kg}, tombant d'une hauteur de 3^{m}, ni avec un marteau de forgeron manié à toute volée.

L'explosion d'un tube détonant ou de charges de coton-poudre ou de dynamite ne détermine pas l'explosion de tubes détonants semblables placés dans le voisinage, sans liaison spéciale.

Le choc d'une balle de fusil, modèle 1874, tirée à petite distance, peut déterminer l'explosion d'un bout de tube détonant placé au contact d'un corps dur.

Le choc d'une balle semblable, tirée également à petite distance contre une bobine garnie de tube, peut déterminer l'explosion du tube au point frappé; l'explosion ne se communique pas à toute la masse, par suite de l'écrasement des spires voisines de celles atteintes; mais le feu peut se mettre à la charge et se propager pendant un temps très long, par suite sans doute de l'élévation de température causée par le choc et des perforations produites dans les spires voisines par les éclats projetés par les spires qui ont détoné; la combustion est alors accompagnée de petites décrépitations.

VI. — Mode d'emploi. Amorçage.

Pour faire usage des tubes ou des cordeaux détonants, on peut les dérouler sur le sol, sans précautions spéciales; on peut aussi les placer suivant toute autre disposition et les employer suspendus dans l'air, enfoncés en terre ou plongés dans l'eau.

Pour obtenir le développement voulu, on peut placer bout à bout des tronçons de tubes ou de cordeaux, soit en les juxtaposant simplement, soit, ce qui est préférable, en les réunissant au moyen de petits manchons en laiton, de $4^{mm},1$ de diamètre intérieur, fixés par sertissure et engagés en refoulant légèrement l'enveloppe en chanvre, s'il s'agit de tubes recouverts.

Les bouts des tronçons ainsi réunis doivent être coupés carrément, de façon à mettre l'âme en regard, et si cette âme était trouvée humide, on devrait couper de nouveau l'extrémité, jusqu'à ce qu'on arrivât à une portion sèche.

Si le tube doit rester exposé à l'humidité, on peut employer, pour faire les assemblages, des manchons enduits, au moment de l'emploi, de vernis à la gomme laque ou des manchons doublés extérieurement d'un tube en caoutchouc, dont on relève les bouts pour faire les sertissures et que l'on rabat ensuite sur les joints.

Les extrémités des tronçons doivent être de préférence mises en contact, cependant la détonation peut se transmettre avec un intervalle vide d'environ 5^{mm} pour les tubes isolés, et d'environ $0^{m},02$ avec les tubes réunis à l'aide de manchons.

Les ruptures accidentelles du tube en plomb à l'intérieur de l'enveloppe en chanvre n'arrêtent pas habituellement la détonation si le tube n'a pas pris l'humidité, la présence de l'enveloppe tressée ayant pour effet de maintenir les tronçons suffisamment rapprochés.

Pour provoquer la détonation d'un bout du tube ou du cordeau, après avoir tronçonné carrément l'extrémité, afin de mettre à jour l'âme en coton-poudre, on refoule un peu l'enveloppe en tresse, s'il s'agit d'un cordeau, et l'on engage sur cette extrémité la partie rétrécie d'un petit manchon, dit *manchon d'amorçage*.

Ce manchon est fixé par une sertissure faite près de son extrémité, au moyen de la pince Bickford, et l'on engage dans la partie la plus large une capsule fulminante de 6^{mm} de diamètre extérieur, muni de son moyen de mise de feu, bout de mèche lente Bickford ou amorce électrique.

On peut rétrécir ensuite l'entrée du manchon d'amorçage pour empêcher la sortie accidentelle de la capsule, mais cette précaution n'est pas indispensable.

Si le tube détonant doit rester exposé à la pluie, on peut tamponner l'entrée du manchon avec de la cire molle ou un mastic quelconque.

On doit faire usage d'une capsule à la charge de $1^{gr},5$, et il faut avoir la précaution d'effectuer le montage du manchon et de la capsule, de telle sorte que le fond de celle-ci arrive au contact du tube détonant.

A défaut de manchon d'amorçage, on peut aussi provoquer la détonation du cordeau, en fixant latéralement la capsule sur son extrémité au moyen d'une ligature à tours serrés, faite avec une ficelle; il convient de refouler alors l'enveloppe en tresse, de façon que la capsule soit en contact immédiat avec le tube en plomb.

On peut, enfin, provoquer la détonation simultanée de plusieurs tubes détonants en liant ces tubes en faisceau autour d'une capsule fulminante; il est nécessaire, dans ce cas, d'établir un contact bien intime entre les parois des tubes et la capsule, et il est avantageux de réduire, avec un canif, l'épaisseur des parois dans la partie appliquée contre la capsule ou même de mettre à nu l'âme en coton-poudre.

VII. — Effets de la détonation d'un tube ou d'un cordeau isolé.

La détonation provoquée par la capsule se transmet, avec la rapidité indiquée précédemment, sur toute l'étendue du tube, quels que soient la longueur employée et le nombre des tronçons réunis.

La longueur peut dépasser 100^{m}, et il est probable qu'elle peut aller bien au delà de cette limite.

La détonation se transmet, quels que soient les détours que fait le tube qui peut même être enroulé en hélice ou contourné irrégulièrement. Toutefois, quand on enroule un tube en hélice sur un corps cylindrique, de façon que les spires se touchent, il se produit un arrêt de transmission provoqué par l'écrasement des spires intermédiaires, au moment de la détonation, mais on peut éviter cet effet en écartant seulement les spires de $0^{m},01$ environ. La détonation produit un bruit sec et d'autant plus violent que la longueur du cordeau qui a détoné est plus grande. Il est habituellement impossible de distinguer, dans ce bruit, le bruit spécial dû à la capsule.

La détonation du tube à l'air libre est accompagnée de la production d'un nuage blanchâtre, qui paraît dû surtout aux particules de métal projeté et qui ne s'étend qu'à faible distance du tube.

Par l'effet de la détonation, le tube, recouvert ou non, disparaît complètement; le plomb est projeté en parcelles extrêmement fines qui laissent au-dessous du tube, s'il repose sur un corps résistant, une trace d'emplombage de $0^{m},02$ à $0^{m},03$ environ de largeur, estompée sur les bords.

Les tubes en étain laissent parfois des résidus dont l'aspect est sem-

blable à celui que présenterait un fil d'étain très fin, écrasé sous un choc violent; ces résidus sont projetés à faible distance, en tronçons de $0^{m},10$ à $0^{m},20$ de longueur.

Si l'on opère sur un sol peu résistant, la trace laissée par le tube se forme au fond d'un léger sillon; sur le bois dur, la pierre ou un métal, on n'obtient que la trace d'emplombage.

Les parcelles des parois, projetées lors de la détonation d'un tube, peuvent produire des traces d'empreinte sur des corps mous; c'est ce qui arrive, par exemple, si l'on place des tubes en plomb, non recouverts, dans le voisinage immédiat de celui qui détone; ces tubes sont alors criblés de trous ou de petites empreintes de 1^{mm} à 2^{mm} de diamètre.

Les tubes enterrés près de la surface du sol ou recouverts par la neige sur une épaisseur de quelques centimètres dispersent, en faisant explosion, la terre ou la neige qui les recouvre et, dans ce dernier cas, laissent sur le sol une trace extrêmement visible.

Les tubes détonants plongés dans l'eau, en prenant des précautions pour que le liquide ne puisse pénétrer à l'intérieur par les joints, détonent sans laisser de traces; si la détonation se produit dans une rigole pleine d'eau, la rigole peut être mise à sec par la projection du liquide.

VIII. — Ramifications simples des tubes ou cordeaux détonants.

On peut obtenir de différentes manières des ramifications de tubes ou cordeaux détonants par simple bifurcation.

Le procédé le plus simple consiste à employer des raccords qui sont dits *manchons de dérivation.*

Ce sont des douilles en laiton de $0^{mm},2$ d'épaisseur et de $0^{m},05$ de longueur, cylindriques à un bout, au diamètre de $4^{mm},1$ intérieurement, évasées à l'autre bout, de façon à pouvoir recevoir deux bouts de tubes détonants juxtaposés.

Pour s'en servir, après avoir, s'il y a lieu, refoulé l'enveloppe en tresse des tronçons de cordeaux à réunir, on introduit d'abord dans la partie la plus large deux des bouts de tube coupés en sifflet, en les juxtaposant, de façon que les parties mises à nu soient amenées en contact, et on les pousse jusqu'à ce qu'ils s'engagent dans la partie rétrécie.

On les fixe alors, par une sertissure, sur l'extrémité de la douille, puis on engage par le petit bout l'extrémité du tube du cordeau excitateur que l'on pousse au contact des deux premiers et que l'on fixe par une sertissure.

En cas de pluie, il convient de boucher, avec un peu de cire molle ou de mastic, l'entrée de la douille la plus large.

Le manchon de dérivation peut aussi, pour plus de commodité, présenter du côté élargi deux sillons dessinant le logement cylindrique des deux

tubes ou même des manchons formés de deux bouts de tubes coupés en sifflet et soudés, sous un angle très aigu, sur le bout de tube destiné à recevoir le tube excitateur.

A défaut de manchons de dérivation, on peut produire une dérivation en fixant, par une ligature, contre un tube, le bout d'un autre tube dont l'âme a été dénudée, d'un côté, par l'enlèvement de la paroi, sur une longueur de $0^{m},03$ à $0^{m},04$. Cette section se fait aisément avec un canif; on doit placer ce second tube, de façon que le coton-poudre mis à nu soit en contact direct avec la paroi en plomb du tube excitateur, qu'il est inutile alors de dénuder.

On laisse à l'extrémité de la dérivation un bout de tube intact pour consolider l'assemblage. S'il s'agit de cordeau détonant, il faut d'abord enlever l'enveloppe en tresse à l'endroit où doit se faire le raccord.

Ce procédé a l'inconvénient de mettre à nu l'âme du tube dérivé qui peut absorber l'humidité et dès lors ne plus détoner. On peut obtenir un meilleur mode de réunion, en enlevant seulement, avec un canif, une portion de l'épaisseur de la paroi en plomb du tube excitateur et de sa dérivation, et mettant en contact les parois ainsi affaiblies que l'on maintient avec une ligature; mais cette opération exige une certaine habileté pour être faite sans mettre le coton-poudre à nu et de façon à obtenir néanmoins un bon fonctionnement.

Ces différents procédés permettent de transmettre simultanément aux deux branches destinées à former des rameaux dérivés la détonation qui est provoquée dans le tube excitateur. Chacun des embranchements ainsi obtenus peut devenir, à son tour, tube excitateur pour de nouvelles dérivations; on peut obtenir ainsi des ramifications en nombre illimité.

Les branches dérivées peuvent être recourbées brusquement à la sortie du manchon de dérivation et suivre une direction quelconque; la détonation ne paraît pas s'affaiblir en se ramifiant ainsi successivement.

IX. — Ramifications multiples des tubes ou cordeaux détonants.

On peut produire des ramifications multiples simultanées en un même point d'un tube ou d'un cordeau détonant, en faisant usage de raccords à envoloppe conique.

Ces raccords se composent d'une douille centrale cylindrique de $4^{mm},1$ de diamètre intérieur, que traverse simplement le tube excitateur et sur laquelle est soudée une enveloppe conique, qui peut recevoir les extrémités taillées en sifflet de 6 bouts de tube destinés à former dérivation.

On doit avoir soin que les parties dénudées par l'entaille oblique, que l'on pratique aisément avec un canif, soient mises en contact direct avec la douille centrale.

Les bouts de tube ainsi mis en place sont fixés au moyen d'une ligature sur la douille centrale qui dépasse, à cet effet, d'une quantité convenable l'enveloppe conique.

Par temps humide, il est bon de boucher, avec de la cire molle, l'entrée de l'enveloppe conique. Pour faciliter cette opération, il est avantageux d'employer des raccords dont l'enveloppe conique soit pourvue de sillons emboutis, déterminant la place de chacun des tubes dérivés.

A défaut de manchons, on peut provoquer encore la détonation simultanée de plusieurs branches dérivées, en fixant en faisceau par une ligature, directement sur le tube excitateur, les extrémités des tubes destinés à former dérivation, après avoir enlevé avec un canif une portion de la paroi de ces tubes sur une longueur de $0^{m},03$ à $0^{m},04$, de façon à dénuder légèrement l'âme. On doit avoir soin de placer la partie dénudée en contact avec le tube excitateur placé au centre, et l'on réserve, à l'extrémité de chaque tube dérivé, une portion non entaillée pour donner plus de solidité à l'assemblage. Si l'on opère sur des cordeaux détonants, il faut d'abord enlever l'enveloppe tressée dans les parties à réunir.

Cette dernière disposition exige une certaine habileté de la part de l'opérateur; elle présente plus de difficultés que lors de l'emploi du raccord à enveloppe conique, pour préserver de l'humidité les bouts de tube tronçonnés, et elle ne doit être considérée que comme un moyen de fortune. Il sera toujours préférable de la remplacer par l'installation d'un relai à capsule, disposé ainsi qu'il sera dit plus loin.

Par les procédés qui viennent d'être indiqués, on peut provoquer la détonation simultanée de 6 dérivations, et le tube excitateur peut lui-même se prolonger au delà du raccord, en fournissant un septième rameau.

Si l'on veut obtenir un plus grand nombre de dérivations, il faut recourir à l'installation d'un relai de détonation, ainsi qu'il sera dit plus loin.

Si le nombre des dérivations que l'on veut produire est inférieur à 6, on peut installer les raccords de la façon indiquée, en substituant aux dérivations inutiles des bouts de tubes inertes ou des fragments de bois; avec les raccords à empreintes, on peut aussi laisser simplement libres les logements inutiles.

Chacune des dérivations préparées peut être choisie pour devenir à son tour un tube excitateur, recevant en un point quelconque de son parcours un nouveau raccord de dérivation, simple ou multiple.

X. — Transmission du feu à des charges de poudre.

On peut transmettre le feu à des charges de poudre noire ordinaire, au moyen de cordeaux détonants dont l'extrémité débouche simplement dans

a charge. Il faut seulement avoir soin que le tube pénètre bien dans la poudre, et que celle-ci ne puisse être facilement projetée par la détonation du cordeau sans être enflammée. Il suffit, pour éviter cet effet, de placer la poudre dans un récipient présentant une certaine résistance, comme une boîte en bois ou en métal, ou encore d'enterrer légèrement le sac qui contient la poudre. De la poudre de mine, simplement renfermée dans une gargousse en papier ou en serge placée à l'air libre, fait cependant le plus souvent explosion si le cordeau pénètre bien dans la charge. Pour empêcher l'humidité de pénétrer dans la charge, on peut, si l'on fait usage de charges contenues dans des caisses en bois, percer dans la paroi un trou destiné à recevoir un bouchon en liège, dans lequel le tube détonant est lui-même engagé à frottement.

On peut employer une disposition semblable avec les boîtes métalliques munies d'orifices cylindriques, ou faire usage de boîtes portant une petite tubulure saillante de $4^{mm},1$ de diamètre intérieur, dans laquelle le tube détonant est engagé et fixé par sertissure.

On peut provoquer l'explosion d'une série de charges de poudre en les faisant traverser successivement par un même tube détonant.

Si les récipients qui contiennent les charges ne sont pourvus que d'une seule ouverture, on peut infléchir en U chacune des parties de tube qui sont destinées à pénétrer dans les charges; on peut même, pour éviter l'introduction de l'humidité, préparer des bondes destinées à fermer les orifices et munies de bouts de tube courbés en U engagés à frottement dans deux trous de diamètre convenable. Les extrémités de ces bouts de tubes, une fois les bondes mises en place, sont reliées par des tronçons de tubes assemblés à la façon ordinaire.

On peut aussi employer des couvercles métalliques, à emboîtement ou à vis, portant deux petites tubulures de $4^{mm},1$ de diamètre intérieur, pour le passage des branches du tube en U que l'on peut alors fixer par sertissure.

Mais, dans les deux cas, il faut éviter que les branches soient trop rapprochées l'une de l'autre, ce qui pourrait provoquer un arrêt de la détonation, par écrasement de l'une d'elles.

Enfin, on pourrait encore faire usage de boîtes métalliques traversées, de part en part, par un tube mince soudé aux deux bouts sur les parois de la boîte, et qui formerait un conduit étanche dans lequel on engagerait simplement le tube détonant, de façon à le faire passer en droite ligne à travers la charge.

XI. — Transmission du feu à des capsules fulminantes. Relais à capsules.

La détonation d'un cordeau détonant provoque l'inflammation d'une cap-

sule fulminante engagée sur son extrémité; il est bon de fixer cette capsule par une sertissure, pour qu'elle ne puisse être projetée par la détonation sans être enflammée.

La capsule fulminante, ainsi enflammée, peut être utilisée pour provoquer l'explosion d'une charge de dynamite ou de coton-poudre.

On peut aussi utiliser l'explosion d'une capsule fulminante, ainsi provoquée, pour constituer un relai à capsule, en vue de produire des dérivations multiples simultanées à l'extrémité d'un tube détonant.

Il suffit, en effet, d'engager l'extrémité de ce tube dans une capsule fulminante, à la charge de $1^{gr},5$, maintenue par sertissage, et de fixer en faisceau autour de cette capsule, par une ligature, les extrémités des tubes destinés à former dérivations. Il est bon d'établir un contact intime entre la capsule et les parois en plomb des tubes fixés sur elle.

On peut faciliter cette opération en faisant usage de relais à enveloppe conique.

Ces relais s'emploient comme les raccords de dérivation à enveloppe conique, décrits précédemment, avec cette différence que la douille centrale reçoit une capsule fulminante engagée à l'extrémité du tronçon du tube excitateur. Les extrémités taillées en sifflet des bouts de tube destinés à former dérivations sont engagées dans l'enveloppe conique avec les précautions indiquées, et fixées par ligature sur l'extrémité de la douille centrale qui dépasse, à cet effet, l'enveloppe conique.

On peut aussi employer des relais dont les enveloppes coniques portent des empreintes embouties destinées à réserver la place de chacune des dérivations, afin de faciliter le bouchage qu'il est utile d'effectuer par les temps humides.

Ces relais à capsules permettent de provoquer la détonation simultanée de 7 branches dérivées. Si l'on a besoin d'un plus grand nombre de dérivations simultanées, il faut recourir à l'emploi des relais à la dynamite ou au coton-poudre qui seront décrits plus loin.

XII. — Transmission de la détonation à des charges de coton-poudre. Relais au coton-poudre.

En employant comme intermédiaire une capsule d'amorce placée dans la charge, et dans laquelle débouche l'extrémité d'un tube détonant, on peut sûrement provoquer l'explosion d'une charge de coton-poudre sec; cette charge peut d'ailleurs être elle-même employée comme charge d'amorce, dans les conditions habituelles, pour provoquer la détonation d'une charge plus considérable de coton-poudre humide.

Si le coton-poudre employé est parfaitement sec, on peut aussi en provoquer directement l'explosion, sans capsule, en faisant déboucher l'ex-

trémité du tube détonant dans la charge, de façon qu'il soit bien en contact avec elle; on obtient même la détonation avec une cartouche métallique de coton-poudre sec, munie d'une douille pour la capsule d'amorce, en engageant simplement l'extrémité du tube détonant dans cette douille; il est bon de l'y fixer en le calant au moyen d'une éclisse en bois.

Mais, comme il est difficile de répondre de l'état de siccité du coton-poudre, il est préférable de toujours employer une capsule fulminante comme intermédiaire.

La détonation d'une charge de coton-poudre suffit pour provoquer la détonation d'un tube détonant dont l'extrémité est engagée dans cette charge ou qui est simplement placé en contact avec elle. On peut utiliser cette propriété pour provoquer, à l'extrémité d'un bout de tube détonant, des ramifications nombreuses. Il suffit d'engager l'extrémité de ce tube excitateur dans une petite boîte remplie de coton-poudre, avec interposition d'une capsule fulminante, si l'on n'est pas très sûr de l'état de siccité de ce coton-poudre, et de fixer, autour de cette boîte, les extrémités des bouts de tube destinés à former dérivations.

XIII. — Transmission de la détonation à des charges de dynamite. Relais à la dynamite.

En employant comme intermédiaire une capsule d'amorce placée dans la charge et dans laquelle débouche l'extrémité d'un tube détonant, on peut provoquer sûrement l'explosion d'une charge de dynamite.

Si la dynamite n'est pas gelée, il suffit même d'introduire directement l'extrémité du tube détonant dans la charge, à la place de la capsule, pour en provoquer la détonation.

On peut encore provoquer l'explosion d'une cartouche de dynamite molle, en la liant simplement contre un tube détonant ou en faisant faire à ce dernier quelques tours sur elle; l'opération réussit avec la cartouche en fer-blanc réglementaire, soit en introduisant l'extrémité du tube dans la douille destinée à la capsule d'amorce, soit en fixant le tube contre l'un des longs côtés de la cartouche par une ligature.

Dans la pratique et lorsque la dynamite ne sera pas gelée, il sera donc inutile de se servir de capsule.

Réciproquement, la détonation d'une charge de dynamite suffit pour provoquer la détonation d'un tube détonant qui est engagé dans cette charge par son extrémité, ou même qui est simplement fixé contre les parois de la cartouche qui la contient.

On peut donc constituer, à l'aide de petites charges de dynamite, des relais de détonation semblables à ceux que l'on peut réaliser avec le coton-poudre, pour provoquer des dérivations multiples en un point d'un tube détonant.

On peut avantageusement faire usage, à cet effet, de petites boîtes métalliques renfermant une charge cylindrique de dynamite, du poids de 25^{gr} à 30^{gr}, et contre les parois de laquelle on fixe, soit par une ligature, soit en les introduisant dans de petites douilles soudées latéralement, les extrémités des tubes dérivés.

Si la dynamite n'est pas gelée, il sera inutile, d'ailleurs, de l'amorcer au moyen d'une capsule fulminante, et le tube excitateur lui-même pourra être simplement appliqué contre la paroi extérieure de l'enveloppe.

XIV. — Transmission en cascade à des charges de coton-poudre ou de dynamite.

On peut se servir des tubes détonants pour transmettre la détonation d'une charge de coton-poudre ou d'une charge de dynamite à une autre charge semblable, ou d'une charge de coton-poudre à une charge de dynamite, et inversement.

Si l'on n'est pas certain de l'état de siccité du coton-poudre, ou si la dynamite est gelée, il sera nécessaire d'employer l'intermédiaire d'une capsule fulminante pour assurer la détonation de la seconde charge.

Cette dernière charge peut, à son tour, transmettre, de la même façon, la détonation à une troisième.

Les bouts de tube détonant destinés à transmettre la détonation peuvent être engagés, par l'une de leurs extrémités, dans la charge excitatrice ou même simplement maintenus par une ligature contre les parois de l'enveloppe de cette charge.

La transmission de la détonation, de charge en charge, opérée en cascade de cette façon, est tellement rapide, que les charges extrêmes n'ont pas le temps d'être dérangées par les vibrations provoquées par l'explosion des charges précédentes, alors même que toutes ces charges sont appliquées contre des pièces métalliques.

XV. — Organisation de dispositifs de mise de feu.

Les tubes et cordeaux détonants pouvant aisément s'assembler et se ramifier, et pouvant provoquer l'explosion des différentes sortes de poudre employées dans les usages militaires ou industriels, se prêtent, par suite, facilement à l'organisation des divers dispositifs de mise de feu que l'on peut avoir à préparer dans la pratique.

Les précautions à observer dans la préparation de ces dispositifs ont été indiquées précédemment pour chaque opération élémentaire. Il convient seulement d'ajouter qu'il faut éviter de faire croiser deux bouts de tubes détonants ou de les trop rapprocher, de crainte que l'un d'eux ne soit coupé

ou écrasé par l'explosion de l'autre, ce qui pourrait provoquer un arrêt dans la transmission de la détonation.

Dans les opérations importantes, il sera bon d'installer un double circuit de communication; la détonation pourra alors être provoquée par une capsule unique ou par deux capsules, suivant le cas.

Dans la préparation des dispositifs de mise de feu un peu compliqués, il sera utile de diriger les opérations de façon à se réserver la possibilité de ne mettre en place qu'au dernier moment les capsules fulminantes des charges, si la nature de celles-ci exige qu'on en fasse usage. En tous cas, il est prudent de terminer toute installation par la mise en place de la capsule excitatrice.

Les tubes et cordeaux détonants peuvent être substitués aux cordeaux porte-feu et aux mèches dites *instantanées,* dans tous les cas où l'on fait usage de ces moyens de mise de feu; ils présentent sur ceux-ci l'avantage de n'exiger aucun compassement des feux, grâce à l'extrême rapidité de leur action. Quand on fait usage de dynamite molle, on peut en outre se dispenser, avec ces cordeaux, de l'emploi de capsules d'amorce, et l'explosion simultanée de cartouches isolées, réparties d'une façon quelconque, devient facile à réaliser, puisqu'il suffit de faire circuler de cartouche en cartouche un tube détonant, avec la seule précaution de le fixer par une ligature contre la paroi de chaque cartouche, même s'il s'agit de cartouches métalliques réglementaires.

On indiquera, comme exemples de dispositifs qui peuvent être, d'une façon spéciale, avantageusement réalisés au moyen de tubes détonants, ceux à employer pour la destruction d'un tunnel, d'un pont en pierre, d'un pont métallique et d'une voie ferrée par l'explosion simultanée de plusieurs charges; ou encore ceux à adopter pour produire plusieurs brèches à la fois dans une muraille ou une palissade ou pour faire sauter des barreaux de grilles en fer.

Les tubes et cordeaux détonants peuvent aussi être substitués aux appareils de mise de feu électrique; ils sont supérieurs à ceux-ci, au point de vue de la simultanéité des effets.

On sait, en effet, qu'il se produit des retards variables lors de l'inflammation des amorces électriques, à fil de platine, et que ces retards dépendent non seulement du mode de confection de ces amorces, mais encore de l'intensité du courant d'inflammation, et, par suite, des conditions d'établissement des circuits et de l'état des piles employées. Ces retards s'opposent à ce qu'on obtienne, dans certains cas, une simultanéité suffisante, par l'emploi d'une mise de feu électrique, les communications ou les dernières charges pouvant être dérangées prématurément par la commotion produite par l'explosion des charges précédentes. Cet effet ne se produit pas avec les tubes ou les cordeaux détonants. Mais ces derniers pré-

sentent, sur les conducteurs électriques, l'inconvénient d'être détruits à chaque explosion, tandis que ceux-ci peuvent, du moins en partie, servir de nouveau.

Pour ce motif, il pourra être avantageux, dans certains cas, de combiner l'emploi des appareils de mise de feu électrique avec celui des cordeaux détonants : les premiers serviront alors à provoquer à distance l'inflammation de la capsule excitatrice et les tubes détonants seront réservés pour l'installation des ramifications dans le voisinage même des charges.

Paris, 5 juillet 1879.

ANNEXE B.

NOTE SUR LES RACCORDS ET ACCESSOIRES EMPLOYÉS POUR LE SERVICE DES TUBES DÉTONANTS, DE 4^{mm} DE DIAMÈTRE, CHARGÉS DE PYROXYLE PULVÉRULENT.

Les dispositifs de mise de feu qu'il convient d'employer de préférence, quand on fait usage de tubes détonants de 4^{mm} de diamètre, chargés de pyroxyle pulvérulent, nécessitent l'emploi d'un certain nombre d'accessoires destinés à réunir entre eux les tronçons, à opérer les ramifications et à provoquer la détonation.

Ces accessoires comprennent :

Les manchons d'assemblage;
Les coiffes de bouts de tubes;
Les manchons d'amorçage;
Les manchons de bifurcation;
Les manchons de dérivations multiples;
Les relais à capsules pour bifurcations;
Les relais à capsules pour dérivations multiples;
La pince à sertir.

D'autres dispositifs, qui ont été décrits dans le Rapport n° 1, peuvent aussi être adoptés pour l'emploi des tubes détonants; mais ces dispositifs font usage de moyens de fortune qui n'exigent pas d'accessoires préparés à l'avance ou emploient, au contraire, des accessoires qui, étant plus compliqués ou plus volumineux que ceux indiqués ci-dessus, ne sont pas d'un emploi aussi avantageux et, pour ce motif, ne seront pas décrits ici.

I. — Manchons d'assemblage.

Description. — Les manchons d'assemblage sont de simples bouts de tube en laiton employés pour relier deux tronçons de tubes détonants contigus, soit dans la fabrication, au moment de la mise en bobine, soit sur le terrain, au moment de l'emploi.

Les manchons d'assemblage employés dans la fabrication ont 20^{mm} seulement de longueur, pour faciliter l'enroulement des tubes sur les bobines: ceux employés sur le terrain ont 40^{mm} de longueur, pour mieux assurer la réunion des tronçons.

Ils ont $4^{mm},2$ de diamètre intérieur et $0^{mm},4$ d'épaisseur, et sont pris dans des bouts de tubes de ces dimensions soudés au cuivre, ou mieux, obtenus par emboutissage sans soudures.

Les bords de ces manchons sont légèrement arrondis en dehors, de façon à former un évasement à l'entrée pour faciliter l'introduction des bouts de tubes détonants qu'ils doivent réunir.

Fabrication. — Le découpage peut se faire à la scie à métaux à main ou à la scie circulaire. Pour le découpage à la scie à métaux à main, il suffit d'un mandrin en acier percé d'un trou d'un diamètre légèrement plus grand que la dimension extérieure du tube à découper, et d'une profondeur égale à la longueur à donner à ces bouts de tube.

Le mandrin étant serré dans l'étau, les opérations comprennent : 1° l'introduction du tube dans le trou du mandrin; 2° le sciage au ras de la tranche du mandrin; 3° l'extraction du bout coupé.

Pour le découpage à la scie circulaire, on monte sur le plateau d'un petit tour à chariot une scie circulaire à métaux. Le chariot porte un guide servant à maintenir le tube, tout en lui permettant de se mouvoir longitudinalement, et un buttoir servant à déterminer la longueur des tronçons.

L'opération consiste, le tour étant en marche, à pousser le tube à tronçonner contre le buttoir et à faire avancer le tube sur la scie, puis à faire reculer le chariot.

Quelle que soit la méthode employée, les tubes étant ainsi tronçonnés, on enlève les bavures extérieures à la lime et celles intérieures avec une petite fraise emmanchée. Les manchons sont ensuite légèrement évasés aux deux extrémités, en appuyant le bout de tube sur un petit tas portant une pointe conique, en même temps que, avec une sorte de poinçon de même forme, on appuie sur l'autre bout. On exerce l'effort nécessaire à cette opération, soit à l'aide d'une presse, soit au moyen d'un marteau.

Les manchons terminés sont recuits au feu de bois et décapés ensuite.

Vérification. — La vérification des dimensions se fait à l'aide de deux mandrins, dont le premier a le diamètre maximum du manchon et ne doit pas pouvoir y entrer; au contraire, le deuxième a le diamètre minimum et doit pouvoir y être introduit. Deux traits circulaires tracés sur le petit bout des mandrins servent, quand le manchon appuie contre l'épaulement, à déterminer les longueurs limites entre lesquelles le manchon doit être compris.

Pour les tubes soudés, la soudure ne doit présenter ni rugosités, ni manque de matière. Les tubes sans soudure doivent être sans paille et sans gerçure.

Mise en boîte. — Les manchons d'assemblage, après vérification, sont placés horizontalement au nombre de 100 dans des boîtes en bois de forme rectangulaire. Ils sont placés dans ces boîtes par couches de 10, séparées les unes des autres par des feuilles de papier. Ces boîtes mesurent intérieurement 58^{mm} de longueur, 42^{mm} de largeur et 62^{mm} de hauteur.

II. — Coiffes de bouts de tube.

Description. — Les coiffes sont des douilles en laiton, fermées à un bout et destinées à être placées sur l'extrémité des tubes détonants pour les préserver de l'humidité, soit lors de la mise en bobine pendant la fabrication, soit, sur le terrain, lorsqu'on est conduit à laisser exposés à l'air des bouts de tubes fraîchement tronçonnés.

Ces coiffes mesurent 25^{mm} de longueur; leur diamètre intérieur est de $4^{mm},2$.

Fabrication. — Les coiffes en laiton peuvent être confectionnées de deux façons. La première et la plus expéditive consiste à découper dans les tubes servant aux manchons d'assemblage, des tronçons de longueur convenable, à les recuire, les décaper, y souder à l'étain un fond bouchant hermétiquement l'une des extrémités et à évaser l'autre, comme il a été indiqué pour les manchons d'assemblage. Dans ce cas, les fonds sont très rapidement découpés sur du plomb au moyen d'un emporte-pièce de dimensions convenables.

La deuxième méthode consiste à découper des rondelles de laiton et à les emboutir au balancier, par passes successives, au moyen de mandrins et matrices convenables.

Cette dernière méthode, quoique plus coûteuse, doit être préférée, car elle donne des capsules beaucoup plus solides et qui présentent plus de sécurité.

Vérification. — La vérification des coiffes se fait au moyen de deux mandrins et en suivant la méthode employée pour les manchons d'assemblage. Ces coiffes ne doivent présenter ni criques, ni fissures et, si elles sont faites en deux pièces, la soudure du fond ne doit pas présenter de manque de matière.

Mise en boîte. — Les coiffes sont placées, par couches horizontales de 10, dans de petites boîtes qui en contiennent 100. On interpose entre les couches des feuilles de papier. Ces boîtes mesurent intérieurement 55^{mm} de longueur, 27^{mm} de largeur et 60^{mm} de hauteur.

III. — Manchons d'amorçage.

Description. — Les manchons d'amorçage, destinés à se fixer à l'extrémité des tubes détonants pour recevoir la capsule d'amorce, sont des tronçons de tubes en laiton de 65^{mm} de longueur totale, présentant deux parties de diamètres différents, mesurant $4^{mm},2$ et $6^{mm},3$ intérieurement, reliées par un raccordement tronconique.

Les deux bouts sont légèrement évasés pour faciliter l'introduction du tube détonant et de la capsule.

Fabrication. — Les manchons d'amorçage sont découpés dans des tubes étirés en laiton de $6^{mm},3$ de diamètre intérieur et de $0^{mm},4$ d'épaisseur.

Le tronçonnage s'opère de la même façon que pour les manchons d'assemblage.

Le découpage fait, on procède au rétrécissement du bout dans lequel doit être introduit le tube détonant. Cette opération se fait au tour à décolleter, de la façon suivante :

Le bout du tube dans lequel on introduit le mandrin est serré entre les coussinets du plateau du tour, ensuite, en mettant le tour en marche, on rétrécit le bout à l'aide de trois filières spéciales, montées sur le porte-outil à revolver. La profondeur des filières est réglée de façon à ne rétrécir que la longueur voulue.

L'effort nécessaire pour pousser les filières est exercé à l'aide d'un levier articulé.

L'outil coupant sert à régler la longueur du bout rétréci qui s'allonge par l'action des filières. La manœuvre de cet outil se fait à l'aide d'un levier.

A défaut de tour et en suivant une marche analogue, on pourra effectuer ce rétrécissement à l'aide d'une presse ou même au marteau. Dans ces deux cas, on devra doubler, au moins, le nombre des passes, à cause du frottement considérable des filières qui est atténué, dans le premier cas, par le mouvement rotatif du tube.

Le mandrin intérieur est chassé à l'aide d'une broche en acier, en appuyant le manchon sur un tas percé d'un trou qui permet le passage du mandrin.

On enlève ensuite les bavures intérieures et extérieures et l'on procède à l'évasement des extrémités, en se conformant à ce qui a été dit pour les manchons d'assemblage.

Les manchons terminés sont recuits au feu de bois et décapés ensuite.

Vérification. — La vérification des manchons d'amorçage se fait à l'aide de deux mandrins présentant chacun deux parties de diamètre différent.

L'un, du diamètre maximum du manchon, ne doit pas pénétrer dans ce dernier; l'autre, au contraire, du diamètre minimum, doit y entrer facilement. Des traits circulaires, tracés aux deux extrémités des mandrins, servent à déterminer les longueurs entre lesquelles les bouts des manchons doivent rester compris.

Ces manchons ne doivent avoir ni manque de soudure, ni paille, ni fente.

Mise en boîte. — La mise en boîte se fait par couches horizontales de

10 manchons jointifs, en les plaçant tête-bêche. On interpose, entre chaque couche, une feuille de papier. La boîte contient 100 manchons; elle mesure intérieurement 76^{mm} de longueur, 67^{mm} de largeur et 82^{mm} de hauteur.

IV. — Manchons de dérivation simple ou de bifurcation.

Description. — Les manchons de bifurcation sont des tronçons de tubes en laiton, présentant d'un côté une partie rétrécie, de section circulaire, qui reçoit le bout du tube excitateur, et de l'autre, une partie évasée et aplatie qui peut recevoir les deux bouts jointifs des tubes dérivés. Ces deux parties sont raccordées par un rétrécissement tronconique qui est disposé de façon à pouvoir être entièrement rempli par les extrémités, coupées en sifflet, des bouts de tubes dérivés, dont les angles doivent être abattus, à cet effet, au canif.

L'entrée des manchons à chaque bout est légèrement évasée pour faciliter l'introduction des tubes.

Ces manchons mesurent 65^{mm} de longueur totale, 4^{mm},2 de diamètre dans la partie rétrécie et 8^{mm},2 sur 4^{mm},2 dans la partie évasée: le métal a 0^{mm},4 d'épaisseur dans la partie évasée.

Fabrication. — Le manchon de dérivation simple n'est autre que le manchon d'amorçage, dont on ovalise la partie renflée.

Cette opération s'effectue de la manière suivante :

On place le manchon à ovaliser entre les deux coquilles de la matrice et l'on rapproche ces deux coquilles l'une de l'autre en les serrant dans un étau. Pour faire disparaître les plis et faire prendre au manchon la forme exacte de la matrice, on enfonce à force, avec un marteau ou mieux avec une presse, le mandrin qu'on introduit dans la partie évasée et qui a exactement la forme intérieure du manchon terminé. Ce mandrin est ensuite chassé au marteau à l'aide d'une broche, et les extrémités du manchon sont arasées à la longueur de la matrice. Le petit bout est évasé à l'entrée avec l'outil qui a servi pour les manchons d'assemblage et d'amorçage; l'autre extrémité est évasée avec un outil du même genre.

Le manchon est terminé au sortir de la matrice, et il ne reste plus alors qu'à le recuire au feu de bois et à le décaper.

Vérification. — La vérification se fait de la même façon que pour les manchons d'amorçage, à l'aide des deux mandrins analogues.

Mise en boîte. — Les manchons terminés sont disposés horizontalement par couches de 10, en ayant soin de les placer tête-bêche, dans des boîtes en bois de dimensions convenables. On interpose, entre chaque couche, une feuille de papier. La boîte contient 100 manchons; elle mesure intérieurement 94^{mm} de longueur, 67^{mm} de largeur et 62^{mm} de hauteur.

V. — Manchons de dérivations multiples.

Description. — Les manchons de dérivations multiples se composent d'une âme formée d'un tube cylindrique, destinée à laisser passer le tube excitateur, et d'une enveloppe tronconique destinée à recevoir les extrémités des bouts de tube dérivés coupés en sifflet et placés jointifs

Ces derniers sont fixés au moyen d'une ligature en ficelle sur l'extrémité du tube central qui dépasse la partie évasée de l'enveloppe conique. Le manchon présente une longueur totale de 65^{mm}; l'enveloppe tronconique a 32^{mm} de hauteur et 14^{mm} de diamètre à la base. Le tube intérieur est cylindrique, au diamètre de $4^{mm},2$ intérieurement.

Fabrication. — L'âme est formée d'un tube analogue au manchon d'assemblage, mais plus long. Sa confection est identique à celle du manchon d'assemblage.

L'enveloppe tronconique est en laiton de $0^{mm},4$ d'épaisseur. Cette enveloppe est découpée à la cisaille ou à l'emporte-pièce, puis enroulée sur un mandrin à bigorne; elle est régularisée au maillet et soudée à l'étain. L'enveloppe ainsi formée est réunie à l'âme par une soudure à l'étain.

Vérification. — La vérification de l'âme se fait, comme pour le manchon d'assemblage, à l'aide de mandrins; l'enveloppe tronconique se vérifie à l'aide d'un mandrin conique et creux; deux traits circulaires limitent les hauteurs entre lesquelles le cône doit être compris. De plus, le mandrin ne doit pas être trop libre dans l'enveloppe conique.

Mise en boîte. — La mise en boîte se fait par couches successives horizontales, contenant chacune 10 manchons placés tête-bêche. On interpose des feuilles de papier entre les couches. La boîte contient 50 manchons disposés sur 5 couches; elle mesure intérieurement 93^{mm} de longueur, 67^{mm} de largeur et 70^{mm} de hauteur.

VI. — Relais de bifurcation.

Description. — Le relai de bifurcation est constitué par un manchon d'amorçage sur lequel sont soudés à l'étain, et suivant deux génératrices diamétralement opposées, deux manchons d'assemblage.

Le manchon d'amorçage reçoit l'extrémité du tube excitateur et une capsule fulminante qu'on sertit sur ce tube; les deux bouts de tubes latéraux reçoivent les extrémités de tubes dérivés dont on recourbe légèrement les bouts pour les maintenir en place.

Fabrication. — La fabrication ne présente aucune particularité. On prépare séparément le manchon d'amorçage et les manchons d'assemblage qu'on réunit par des soudures à l'étain.

Vérification. — Les dimensions de ces relais sont vérifiées à l'aide des mandrins qui servent à la réception des manchons d'assemblage et d'amorçage. Les conditions de réception sont les mêmes que pour ces derniers.

Mise en boîte. — Les relais de dérivations sont placés au nombre de 50 et par couches successives horizontales dans des boîtes en bois. On interpose, entre les couches, des feuilles de papier. Chaque boîte en contient 50 et mesure intérieurement 93^{mm} de longueur, 67^{mm} de largeur et 75^{mm} de hauteur.

VII. — Relais de dérivations multiples.

Description. — Le relai de dérivation multiple est analogue au manchon de dérivation multiple, avec cette différence que l'âme est formée par un manchon d'amorçage permettant de loger l'extrémité du tube excitateur et une capsule fulminante.

L'enveloppe tronconique destinée à loger les extrémités, coupées en sifflet, des bouts de tubes dérivés a toujours 32^{mm} de hauteur; son diamètre à la base mesure 16^{mm}.

Fabrication. — On prépare séparément le manchon d'amorçage destiné à former l'âme.

L'enveloppe tronconique est faite en laiton laminé de $0^{mm},4$ d'épaisseur. L'enroulement et la soudure se font absolument de la même façon que pour l'enveloppe conique du manchon à dérivations multiples, dont la construction a été décrite plus haut.

La réunion du manchon d'amorçage et de l'enveloppe conique se fait aussi par une soudure à l'étain.

Vérification. — La vérification se fait à l'aide de mandrins et de la façon indiquée pour les manchons à dérivations multiples.

Mise en boîte. — La mise en boîte des relais à dérivations multiples se fait comme celle des manchons à dérivations multiples. La boîte employée contient 50 relais formant 10 couches, séparées par des feuilles de papier, et mesure intérieurement 110^{mm} de longueur, 67^{mm} de largeur et 77^{mm} de hauteur.

VIII. — Pince à sertir.

Description. — La pince à sertir est disposée de façon à donner le moyen de couper nettement les tubes par sa partie tranchante, et de sertir facilement les raccords de toute espèce employés pour réunir ou amorcer des tubes détonants.

Elle porte, à cet effet, dans l'angle intérieur de la mâchoire, deux entailles de forme circulaire, à bords taillés en biseau, et qui sont disposées, la première pour produire le sertissage des manchons de 4^{mm} de diamètre inté-

rieur, destinés à recevoir les tubes détonants; la seconde, le sertissage des capsules de 6^{mm} ou des manchons destinés à recevoir ces dernières, et, enfin, une entaille formée de deux portions circulaires jointives et qui sert à opérer le sertissage des manchons, à section ovale, destinés à recevoir deux bouts de tube détonant juxtaposés.

Paris, 30 septembre 1880.

ANNEXE C.

DESCRIPTION DE NOUVEAUX PROCÉDÉS D'AMORÇAGE POUR LES TUBES DÉTONANTS DE 4^{mm} DE DIAMÈTRE, EN PLOMB OU EN ÉTAIN, CHARGÉS DE COTON-POUDRE A L'HYDROCELLULOSE.

Il a été reconnu que les procédés d'amorçage indiqués dans le rapport n° 1, en date du 3 juillet 1879, et dans la note y annexée (p. 36 et 73), et qui utilisent les manchons et raccords décrits en détail dans la note en date du 30 septembre 1880 (p. 88), peuvent être insuffisants, dans certains cas, pour assurer la transmission de la détonation, principalement dans les ramifications, soit par suite d'excès d'épaisseur des parois des tubes, soit par suite d'insuffisance de sensibilité de la composition employée pour le chargement.

On obtient des résultats plus certains, même dans les cas les plus défavorables, en ayant recours aux procédés décrits dans la présente note; ces procédés, qui sont, d'ailleurs, souvent plus simples que les précédents, paraissent donc devoir être substitués à ceux-ci dans la pratique, tout au moins quand on ne sera pas assuré d'avoir à sa disposition des tubes de grande sensibilité et à parois suffisamment minces.

Ces nouveaux procédés d'amorçage sont basés sur ce principe que tout tronçon de tube dont on veut provoquer la détonation doit être coiffé d'un détonateur (capsule fulminante), disposé de façon à mettre la charge en contact avec l'âme et fixé en cette position par sertissage (1).

Avec les tubes de 4^{mm} de diamètre extérieur et les détonateurs à charge de 1^{gr},5, habituellement employés, dont le diamètre intérieur est de 5^{mm},6, il est avantageux de faire usage, pour faciliter le sertissage, d'une petite douille en étain de 25^{mm} de longueur environ et 0^{mm},7 d'épaisseur, qui s'interpose entre le tube et le détonateur.

Cette douille, qui assure l'étanchéité de l'assemblage, doit être poussée au contact de la charge du détonateur, ainsi que l'extrémité du tube détonant engagé dans la capsule; elle déborde alors à l'autre bout le détonateur d'une petite quantité.

Le sertissage s'opère avec une *pince Bickford,* qui est pourvue d'une

(1) Cette opération ne présente aucun danger lorsqu'on fait usage des détonateurs, dits à capsules renforcées, dans lesquels le fulminate est enfermé entre deux enveloppes métalliques.

gorge circulaire et qui sert en même temps à couper les bouts de tube et les bouts de mèche lente.

Le détonateur, ainsi fixé, est placé latéralement en contact avec un détonateur semblable enflammé par un procédé quelconque, s'il s'agit d'amorçage, ou avec le tube détonant excitateur s'il s'agit de provoquer la détonation d'un rameau dérivé.

La détonation du rameau dérivé se produit sans interrompre celle du rameau principal sur lequel il s'embranche.

On peut, sur ce rameau principal, embrancher successivement autant de dérivations qu'il peut être nécessaire; on peut même appliquer autour d'un même point de ce tube principal tous les détonateurs qui forment l'origine de ces embranchements, et constituer ainsi des ramifications multiples sans interrompre le rameau principal qui peut produire plus loin de nouvelles ramifications.

Chacune des dérivations obtenues peut être aussi l'origine de ramifications réalisées de la même façon.

La réunion, soit des détonateurs entre eux, soit des détonateurs avec le tube excitateur, peut se faire au moyen de simples ligatures en ficelle ou au moyen de raccords métalliques, si l'on ne recule pas devant l'emploi d'un matériel spécial.

I. — Amorçage (1).

a. Amorçage avec deux détonateurs fixés par ligature.

L'un des détonateurs est fixé sur l'extrémité du tube détonant, l'autre reçoit le feu d'un bout de mèche lente ou d'une amorce électrique.

Les deux détonateurs sont placés jointifs, en sens inverse; ils sont fixés par une ligature en ficelle.

b. Amorçage avec deux détonateurs fixés par un manchon flexible.

Les deux détonateurs, montés comme précédemment, sont engagés dans les douilles d'un manchon cannelé, ouvert aux deux bouts, en laiton de $0^{mm},4$ d'épaisseur, et mesurant 50^{mm} de longueur. Ce manchon flexible a été resserré à l'avance, de façon à exercer une certaine pression sur les détonateurs, qui se trouvent ainsi maintenus par simple adhérence.

(1) Lorsque la capsule d'amorce est enflammée, au moyen d'un bout de mèche lente Bickford, il y a avantage à employer, pour mettre le feu à cette mèche, un allumeur Ruggieri, formé d'une petite douille en laiton garnie à un bout d'un tampon de composition vive, avec petite mèche d'amorce, et dont on coiffe l'extrémité de la mèche lente. Cet allumeur prend feu facilement à l'approche de tout corps en ignition, et donne un jet vif qui allume rapidement et sûrement la mèche de communication.

Si l'on veut les fixer d'une façon plus sûre, on peut, après les avoir introduits, rétrécir les deux bouts du manchon, en les serrant avec la pince à sertir.

II. — Bifurcations ou ramifications simples.

Bifurcation avec ligature. — Le détonateur est serti sur l'extrémité du rameau dérivé; il est appliqué contre le tube excitateur et fixé par une ligature en ficelle.

Bifurcation avec manchon flexible. — Le détonateur est serti sur l'extrémité du rameau dérivé; il est engagé dans la douille la plus large d'un manchon cannelé, à deux douilles inégales, préalablement enfilé sur le tube.

La pression exercée par le manchon flexible peut suffire pour maintenir le détonateur.

Si l'on veut le fixer plus solidement, on peut rétrécir les deux bouts de la douille qui le contient en en serrant les bords avec la pince à sertir.

III. — Ramifications doubles.

Ramification double avec ligature. — Deux détonateurs, sertis chacun sur l'extrémité d'un tube détonant, sont appliqués contre le tube excitateur au point où l'on veut produire la ramification et sont fixés sur lui par une ligature commune.

Ramification double avec manchon flexible. — Deux détonateurs, sertis chacun sur l'extrémité d'un tube détonant, sont engagés dans les douilles latérales d'un manchon cannelé, préalablement enfilé sur le tube.

Ils se trouvent maintenus par la pression du manchon flexible.

Si l'on veut les fixer d'une façon plus sûre, on peut rétrécir les deux bouts des douilles qui les renferment en en serrant les bords avec la pince à sertir.

IV. — Ramifications multiples.

Ramification multiple avec ligature. — On emploie autant de tronçons dérivés qu'il est nécessaire; on coiffe chacun d'eux d'un détonateur que l'on sertit, et l'on fixe tous ces détonateurs autour du tube excitateur, au moyen d'une ligature commune, si le nombre des rameaux n'est pas trop considérable. Si ce nombre est trop grand, on répartit les détonateurs en deux points voisins ou davantage.

Ramification multiple avec manchon. — On conçoit qu'on puisse employer des manchons cannelés, à douilles multiples, confectionnés d'après le type des manchons décrits précédemment, pour réunir autour

d'un tube excitateur 3 ou 4 détonateurs sertis à l'extrémité d'autant de rameaux dérivés. On peut même placer autour du tube excitateur de 4^{mm} jusqu'à 5 détonateurs jointifs, engagés dans un tronçon de tube de 16^{mm} de diamètre.

Au delà de ce nombre, il serait préférable de répartir les détonateurs en deux groupes.

Paris, 2 juin 1881.

COMMISSION DES SUBSTANCES EXPLOSIVES.

RAPPORT N° 15[1].

ESSAIS DE TUBES DÉTONANTS

FABRIQUÉS PAR LA POUDRERIE DU MOULIN-BLANC.

NOUVEAUX PROCÉDÉS D'AMORÇAGE.

Au mois de décembre 1880, la poudrerie du Moulin-Blanc a préparé et expédié à Sevran-Livry des échantillons de tubes détonants de $0^m,004$ de diamètre, à enveloppes en plomb et enveloppes en étain, représentant des spécimens de fabrication courante des produits que cet établissement proposait de livrer aux corps de troupe de l'artillerie du génie, pour les essais de mise en service qui avaient été prescrits par les ministres de la guerre et de la marine.

Ces spécimens ont fait l'objet d'essais qui avaient pour but de constater si les produits obtenus présentaient les mêmes qualités sous le rapport de la transmission de la détonation, soit en ligne directe, soit par embranchement, que les tubes détonants précédemment préparés par les soins de la commission.

Ces expériences ont fait reconnaître que les tubes en étain avaient une épaisseur de parois trop considérable et une âme de diamètre trop faible pour pouvoir être mis en service.

Les tubes en plomb avaient, au contraire, des dimensions moyennes convenables; mais le diamètre de l'âme présentait

(1) La sous-commission chargée de l'étude était alors composée de :
MM. Fritsch et Sebert, membres titulaires;
Biju-Duval, Haffen et de Verneuil, membres adjoints.

pour ces tubes, comme d'ailleurs pour les tubes en étain, des variations qui semblaient de nature à provoquer des arrêts de transmission, soit en plein tube, en cas de transmission directe, soit surtout dans les raccords pour embranchements.

Les essais effectués ont eu pour but de constater jusqu'à quel point ces craintes pouvaient être fondées.

Dans les transmissions en ligne directe, même lorsqu'on fait usage des tubes en étain à parois épaisses, la détonation, lorsqu'elle a été provoquée à un bout, s'est toujours transmise jusqu'à l'extrémité, mais on a eu à constater de nombreux ratés d'amorçage, c'est-à-dire que la capsule fulminante, à charge de $1^{gr},5$, placée à l'extrémité du tube et maintenue au moyen d'un manchon d'amorçage, semblable au type décrit dans la note du 30 septembre 1880 (p. 88), a fréquemment fait explosion sans entraîner la détonation du tube.

Il faut ajouter que, dans certains cas, surtout lorsqu'on a fait usage de tubes en étain, on avait, en préparant les dispositifs de mise de feu, constaté que l'âme présentait, aux points où l'on avait pratiqué les sections, un diamètre trop faible pour qu'on pût compter sur le fonctionnement du tube, et l'on avait alors détaché et laissé sans emploi un tronçon de longueur suffisante pour éliminer les parties trop défectueuses.

Dans les essais d'embranchements, on a expérimenté d'abord la préparation de raccords de bifurcation, sans capsules, par le simple rapprochement des extrémités des rameaux dérivés, coupées en sifflet et introduites dans un raccord du type décrit par la note du 30 septembre 1880.

Ces raccords ont réussi, dans quelques cas, à produire des dérivations de détonation avec les tubes en plomb, mais on a observé de nombreux ratés et, avec les tubes en étain, il n'a pas été possible d'obtenir un seul cas de bifurcation.

Il était dès lors évident que les tubes détonants soumis aux essais, même ceux en plomb, ne présentaient pas une sensibilité analogue à celle des tubes préparés dès le début par les soins de la commission des substances explosives et qu'ils ne pouvaient être avantageusement mis en essai dans les corps de troupe.

Le coton-poudre employé pour le chargement de ces tubes était du coton-poudre à l'hydrocellulose provenant d'un lot qui porte

le n° 18 dans les fabrications de la poudrerie et dont la préparation a été décrite en détail dans une note de cet établissement en date du 6 novembre 1880.

Cette préparation avait été effectuée d'après les indications données dans une note de la commission en date du 26 mars 1880, pour l'échantillon destiné à porter le n° 3; c'est-à-dire que l'on avait fait usage de coton en ouate à longues fibres, lequel avait été transformé en hydrocellulose par l'action de l'acide chlorhydrique dilué, puis avait été trempé en floches dans le mélange sulfonitrique et pulvérisé seulement après nitrification.

En outre, les 5 échantillons, préparés en exécution de la note du 26 mars 1880, ayant tous présenté un degré de pulvérulence insuffisant, et M. Aimé Girard ayant, à la suite d'une mission à l'usine du Moulin-Blanc, été conduit à attribuer ce résultat à l'absence de broyage, on avait fait subir à la matière un broyage à l'état humide, sous des meules verticales en fonte.

Dans ces conditions, il semblait difficile d'attribuer à un vice de fabrication de la matière même le défaut de sensibilité constaté.

Il y avait bien à faire une réserve à ce sujet, par suite de cette circonstance qu'on s'est préoccupé, au Moulin-Blanc, de donner au produit une stabilité assez grande pour lui permettre de supporter une épreuve de chaleur analogue à celle que l'on fait subir au coton-poudre comprimé préparé pour le département de la marine, ce qui peut expliquer peut-être la diminution de sensibilité du produit.

Mais, en dehors de cette présomption, que des études ultérieures permettront seules d'éclaircir, on ne voyait d'autre cause au défaut constaté que les irrégularités d'étirage.

On a pu supposer tout d'abord que ces irrégularités, dues, sans aucun doute, à une inégale répartition de la charge dans le tube, pouvaient provenir de l'absence de précautions suffisantes dans le séchage des tubes et de la matière destinée au chargement, car on sait que le coton-poudre pulvérulent doit être versé chaud, au sortir de l'étuve, dans les tubes bien secs, pour qu'il se répartisse uniformément dans ces derniers et s'y tasse également sous l'influence de simples secousses latérales (1).

(1) Voir ci-dessus, p. 36, le rapport n° 1, en date du 3 juillet 1879.

Mais M. le directeur du Moulin-Blanc consulté ayant fait connaître que cette précaution a toujours été prise, on se trouve amené à penser que l'irrégularité obtenue a pu être provoquée par l'introduction de charges trop fortes dans le tube; il est à remarquer, en effet, que l'on a introduit pour le chargement jusqu'à 370^{gr} dans chaque bout de tube de 5^{m} de longueur et $0^{m},012$ de diamètre intérieur, tandis que le rapport précité indiquait, comme charge convenable, 200^{gr}, ou au maximum, 250^{gr} de substance.

Cette présomption est corroborée par l'examen des tubes soumis aux essais; car l'âme de ces tubes présente en certains points une compacité et une dureté très grandes, et aussi par ce fait, signalé récemment par M. le directeur du Moulin-Blanc, qu'un tube en étain à parois minces, préparé en vue de remédier à l'excès d'épaisseur constaté sur les premiers échantillons envoyés, et chargé aussi de 370^{gr} de substance, s'est fendu spontanément sur une grande longueur, après quelques heures de repos sur la bobine même qui l'avait reçu après étirage.

Quoi qu'il en soit de ces remarques, il semble permis d'espérer que, soit par de légers changements apportés dans les détails de l'étirage, soit par des modifications aux conditions de préparation de la substance employée pour le chargement, il sera possible de reproduire les résultats qu'avait obtenus la commission des substances explosives dans les premiers essais mentionnés dans le rapport n° 1.

Il serait désirable de ne mettre en service dans les corps de troupe que des tubes jouissant d'une sensibilité au moins égale à celle qui avait été réalisée alors et se prêtant par suite, avec la même facilité, aux applications multiples qui avaient été expérimentées.

Mais, ces recherches de perfectionnement devant exiger un certain temps et les services militaires se trouvant intéressés à pouvoir faire mettre en essai, le plus tôt possible, dans les corps de troupe ou les établissements, le nouveau matériel constitué par ces tubes détonants et les nouvelles méthodes qu'il permet de réaliser pour les dispositifs de rupture, on a été conduit à rechercher s'il ne serait pas possible, au moins à titre provisoire, d'utiliser, pour l'exécution de ces essais, les tubes déjà préparés à l'usine du Moulin-Blanc, en ayant recours à des procédés susceptibles d'assurer

la réussite de l'amorçage et des dérivations, malgré le défaut de sensibilité de ces tubes.

I. — Amorçage.

En ce qui concerne l'amorçage, le procédé habituellement employé présente une condition peu favorable à la transmission de la détonation, condition qui, bien que sans influence nuisible avec les tubes de bonne qualité, peut être cause de ratés lorsque les tubes sont peu sensibles. La capsule excitatrice, ou détonateur, est placée, en effet, dans le prolongement même du tube auquel elle présente son culot; l'épaisseur de ce culot, que la détonation doit traverser, peut déjà être un obstacle et, en outre, le manchon d'amorçage employé pour fixer le détonateur à l'extrémité du tube n'oblige pas à mettre nécessairement ce culot en contact avec l'âme; de sorte que, si l'on n'apporte pas à l'amorçage une attention suffisante, on peut laisser subsister entre le détonateur et le tube un vide auquel on a été conduit à attribuer au moins une partie des ratés qui ont été observés.

Les conditions seraient évidemment préférables si le détonateur coiffait le tube détonant, de façon à placer le fulminate qu'il contient en contact direct avec l'âme et l'on s'est proposé de rechercher si cette disposition ne présenterait pas plus de sécurité d'emploi.

Mais, dans ce cas, il n'est plus possible d'introduire dans le détonateur la mèche fusante ou l'amorce électrique destinée à lui communiquer le feu, et l'on a dû faire usage d'un second détonateur placé au contact du premier et destiné à en provoquer l'explosion, ce second détonateur étant lui-même allumé par les procédés habituels.

On a obtenu ainsi la détonation d'une façon presque certaine (1).

On a employé, pour maintenir les deux détonateurs en contact, soit une simple ligature en ficelle, soit un manchon d'amorçage double disposé de façon à recevoir ces deux détonateurs jointifs et placés en sens inverse.

Le procédé par simple ligature, qui dispense de l'emploi d'un matériel spécial, paraît devoir être préféré dans la pratique.

On a constaté d'ailleurs que l'on ne rendrait pas l'amorçage

(1) Les quelques ratés que l'on a observés peuvent être attribués au mauvais état des détonateurs.

plus sûr que par l'ancien procédé, au moins avec des tubes en étain, en fixant latéralement contre le tube détonant le détonateur placé à l'extrémité de la mèche d'amorce ou disposé pour l'inflammation électrique; ce procédé n'est donc pas à recommander.

II. — Ramifications.

Pour provoquer plus sûrement la détonation des rameaux dérivés, on a fait l'essai de procédés analogues à celui qui vient d'être indiqué en première ligne pour l'amorçage du tube principal et l'on a étudié les différentes combinaisons que l'on peut réaliser en coiffant d'un détonateur, fixé par sertissage, l'extrémité de chacun des tubes dérivés dont on veut provoquer la détonation.

On a constaté tout d'abord que si l'on fixe, en un point quelconque d'un bout de tube, au moyen d'une ligature en ficelle par exemple, un détonateur placé lui-même à l'extrémité d'un rameau dérivé, on obtient la détonation de ce rameau sans qu'elle provoque un arrêt de transmission dans le tube principal.

Ce procédé réussit presque toujours alors même que les tubes dont on fait usage paraissent présenter peu de sensibilité.

On a ainsi un moyen simple de produire une dérivation.

Si l'on veut en produire deux ou un plus grand nombre, il suffit de réunir en faisceau de la même façon, en un même point d'un tube excitateur, deux ou plusieurs détonateurs fixés chacun par sertissage sur l'extrémité d'un rameau.

Le tube excitateur peut se prolonger au delà du point d'assemblage ou être coupé en ce point. On peut, dans ce dernier cas, pour mieux assurer encore le résultat, coiffer aussi l'extrémité de ce tube d'un détonateur fixé par sertissage; mais ce complément de précautions ne paraît nullement nécessaire, même dans les cas les plus défavorables.

On a employé, pour relier au tube excitateur les détonateurs ainsi placés sur les tubes dérivés, de simples ligatures en ficelle et des manchons d'amorçage de divers systèmes. Tous ces dispositifs ont également réussi, mais la simplicité du procédé par ligature, qui dispense de l'emploi de tout matériel spécial, est de nature à faire donner, dans la plupart des cas, la préférence à ce système.

Si l'on préfère cependant employer des raccords métalliques,

on pourra avantageusement faire usage de simples douilles flexibles, obtenues en produisant des cannelures sur un bout de tube mince de dimensions convenables. Ces douilles peuvent maintenir les tubes et les détonateurs par la simple adhérence provoquée par l'élasticité du métal; elles peuvent aussi être retrécies à l'entrée après l'introduction des détonateurs, de façon à empêcher la sortie de ces derniers (1).

Les essais récemment exécutés ont aussi montré que, pour faciliter le sertissage des détonateurs ou capsules fulminantes réglementaires sur l'extrémité des tubes détonants de 4^{mm} de diamètre, il est avantageux d'employer de petites douilles d'étain de $5^{mm},5$ de diamètre environ, qui s'interposent entre le tube et le métal de la capsule. Ces douilles sont surtout utiles pour assurer l'étanchéité de l'assemblage, et l'emploi paraît devoir en être recommandé d'une façon générale.

Enfin, ces mêmes essais ont fait ressortir la grande commodité d'emploi des allumeurs Ruggieri pour provoquer sûrement, par tous les temps, l'allumage des mèches lentes Bickford, et il y a lieu également de signaler l'utilité de ces petits artifices.

Résumé. — En employant systématiquement un détonateur, ou capsule fulminante à forte charge, disposé de façon à coiffer l'extrémité de chaque bout de tube détonant, principal ou secondaire, dont on veut provoquer la détonation, et en réunissant, soit par une simple ligature en ficelle, soit par un raccord flexible, les détonateurs ainsi montés sur l'extrémité des tubes à la capsule excitatrice s'il s'agit d'amorçage, ou au bout du tube excitateur s'il s'agit de dérivations, on peut obtenir toutes les combinaisons nécessaires pour l'usage pratique des tubes détonants, et l'emploi de ce nouveau procédé, qui assure mieux la transmission de la détonation que ceux précédemment décrits, semble devoir être recommandé, surtout en prévision des cas où l'on aurait à opérer sur des tubes de sensibilité médiocre.

Paris, 2 juin 1881.

---

(1) Voir ci-dessus, ANNEXE C, p. 96.

NOTICE HISTORIQUE

SUR LA

POUDRERIE PHILIPPE-AUGUSTE

(SIÈGE DE PARIS, 1870-1871);

PAR

M. MAUROUARD,

Inspecteur général des poudres et salpêtres, directeur au ministère de la guerre.

C'est au commencement d'octobre, un mois environ après l'investissement de Paris, qu'on se préoccupa de la question des poudres (1). On allait manquer de poudre pour la confection des cartouches de chassepot, lesquelles exigeaient une poudre spéciale assez voisine des poudres de chasse; de plus, le tir des forts, qui devenait très actif, donnait lieu à une telle consommation de poudre à canon qu'on entrevoyait déjà avec inquiétude le moment où cette poudre allait aussi faire défaut; on admettait d'ailleurs l'hypothèse où, Paris étant débloqué, il faudrait tenir la campagne à l'extérieur et suppléer à l'insuffisance des poudreries de province en partie occupées par l'ennemi; enfin M. le pasteur COQUEREL avait prononcé dans une réunion publique, au théâtre de la Porte-Saint-Martin, deux mots qui se répétaient dans la ville : « *De la poudre et du pain* ».

L'administration de la guerre se décida alors à créer une grande fabrique de poudres dans Paris et chargea de l'organisation de ce service M. MAUROUARD, directeur des poudres et salpêtres, qui venait de créer l'importante poudrerie de Sevran-Livry.

(1) La décision prescrivant l'organisation de la fabrication des poudres porte la date du 5 octobre 1870.

C'était là une mesure grave, qui témoigne d'un grand effort fait en vue de la défense du pays par l'administration de la guerre, laquelle n'ignorait pas les résultats désastreux qu'avait eus une tentative analogue, faite en 1794 par le comité de salut public, pour pourvoir aux besoins des nombreuses armées de la République. Elle savait que la création d'une grande fabrique de salpêtre dans l'Abbaye de Saint-Germain-des-Prés et d'une vaste poudrerie dans la plaine de Grenelle n'avait alors abouti qu'à l'incendie des bâtiments de l'Abbaye et à une immense explosion, qui avait fait des milliers de victimes et étendu ses ravages jusqu'au cœur de Paris; mais la considération des nécessités de la défense triompha des hésitations que devait faire naître le souvenir de cette catastrophe.

Il importait de produire à bref délai de grandes quantités de poudre, et des mesures furent prises, le jour même de la décision ministérielle, pour la production des poudres de guerre à canon et à fusil; mais, comme cette production nécessitait des installations considérables, pour lesquelles un délai minimum de 25 jours était demandé, on crut devoir utiliser cet intervalle en préparant du coton-poudre (pyroxyle), et il en fut fait une commande de 85000^{kg} destinés au chargement des projectiles creux.

La fabrication du pyroxyle fut immédiatement installée dans deux petites usines du quai de Javel, où l'on arriva rapidement à produire environ 500^{kg} par jour. Le coton, préalablement cardé, était trempé par quantités de 200^{gr} dans 2^{lit} d'un mélange formé de 1^{vol} d'acide azotique à 48° et de 2^{vol} d'acide sulfurique à 66°; le lavage se faisait en pleine Seine; il était suivi d'un essorage dans une turbine Cail, puis du séchage dans un séchoir approprié à cette opération. Des expériences de tir et d'éclatement de projectiles exécutées à Vincennes donnèrent, avec un chargement variant, suivant la capacité intérieure des divers projectiles, entre le tiers et le sixième de la charge réglementaire de la poudre ordinaire, des effets d'éclatement supérieurs à ceux de cette dernière poudre; de plus, la conservation du pyroxyle, soit en vase clos, soit à l'air, ne laissait rien à désirer. Cependant la défaveur avec laquelle cette substance était accueillie par l'artillerie et la mise en activité de la fabrication de la poudre noire engagèrent à renoncer à cette fabrication, à la suite d'un accident arrivé le 27 oc-

tobre dans le séchoir, par le fait de l'imprudence d'un ouvrier plombier, qui, appelé pour réparer la toiture en zinc détériorée par l'ouragan de la nuit précédente, laissa tomber une goutte de soudure sur le coton-poudre.

---

§ I.

PRÉPARATION DES MATIÈRES PREMIÈRES.

Salpêtre raffiné. — Tous les produits, contenant soit l'acide azotique, soit la potasse, furent réquisitionnés pour la fabrication du salpêtre, qui fut installée dans diverses usines, dont la plus importante était l'usine Chevé fils, à Paris-Vaugirard. Le salpêtre fut obtenu d'abord par la réaction de l'azotate de soude sur le chlorure de potassium, puis par celles de l'acide azotique et de l'azotate de soude sur le carbonate de potasse, trouvé dans le commerce ou provenant du lessivage des cendres de bois; ce qui nécessita un grand effort, dans lequel intervinrent, avec le plus louable dévouement, MM. Henri Bourdon, pour les réquisitions et les achats de matières premières dans le commerce (1), Henri Sainte-Claire Deville et Debray, pour le titrage de ces matières, de Luynes, le Dr Thiercelin, Schutzenberger et Fouqué, pour la recherche et l'analyse des matériaux salpêtrés, Billaudot, pour le traitement de ces matériaux, et Alphand, pour les transports rendus si difficiles par la rareté des chevaux (2).

La fabrication journalière fut ainsi portée à 6000^{kg} de salpêtre raffiné, et le chiffre total de la production avait, au moment de l'armistice, atteint 290895^{kg}, quantité que les produits et matériaux disponibles permettaient dès lors de porter à plus de 600000^{kg}.

Soufre raffiné. — Le soufre nécessaire fut trouvé à Saint-

(1) Ces achats furent opérés dans des conditions si avantageuses, que la vente des quantités restantes, faite par les Domaines, après la Commune, produisit une recette supérieure à la dépense primitive.

(2) Il fallait aller recueillir, à l'extérieur, les cendres des bivouacs et enlever nuitamment le charbon de terre, sous le feu des avant-postes de l'ennemi.

Denis chez MM. Jouet frères, qui en ont livré 41 200^{kg} contenant à peine $\frac{1}{1000}$ de matières étrangères.

Charbon de bois. — Le charbon employé était du charbon de bois blanc distillé par les soins de M. Ch. Camus, dans son usine du quai de la Gare, où près de 40 000^{kg} de ce charbon ont été fabriqués.

Un approvisionnement considérable de bois blanc, préparé en meules, par les soins de M. l'ingénieur en chef Darcel, dans les bois de Boulogne et de Vincennes, ne put être utilisé, à cause de son mode de fabrication qui y introduisait une proportion considérable d'humidité, en même temps que des corps étrangers siliceux.

Trituration préalable. — Pour réduire autant que possible les opérations intérieures de la poudrerie, la pulvérisation et le tamisage des matières premières ont été effectués à l'extérieur : le salpêtre et le soufre au moyen d'un broyeur Karr, à l'usine Toufflin, boulevard de Charonne, 132, et le charbon au moyen de meules en fonte et de châssis de tamisage parfaitement installés à l'usine Bougon, rue des Francs-Bourgeois, 39. Le degré de pulvérisation était ainsi amené à la perce de $0^{mm},65$.

Une explosion, sans grande gravité, se produisit à l'usine Toufflin, au cours de la trituration du soufre.

Quant à l'élégante usine Bougon, ordinairement affectée au traitement des cendres d'or, son propriétaire n'eut à regretter que de la voir salie par le poussier de charbon.

§ II.

INSTALLATION DE LA POUDRERIE.

Bâtiments. — Les opérations dangereuses de la fabrication ne pouvaient être exécutées que dans un établissement spécial pourvu d'appareils appropriés. Un emplacement favorable à la construction de la poudrerie fut trouvé dans la partie de l'avenue Philippe-Auguste comprise entre les rues de Montreuil et de Charonne (*fig.* 1). Cette partie de l'avenue ne présentait alors aucune con-

struction en bordure, et des terrains inhabités (1) s'étendaient des deux côtés jusqu'à une distance de plusieurs centaines de mètres; la chaussée macadamisée, pourvue de conduites d'eau et de gaz, offrait, en outre, de grandes facilités pour les mouvements intérieurs, l'éclairage de nuit et l'alimentation des machines. La distance des points d'attaque, possibles de ce côté de Paris, écartait enfin toute chance de bombardement.

Il fut donc établi sur ce point une enceinte d'une superficie de 65 000^{mq}, dans laquelle furent construits, en 17 jours (2), 51 bâtiments, isolés les uns des autres en prévision des explosions possibles; 7 autres bâtiments, établis à l'extérieur pour le magasin général, les postes militaires et le dortoir des ouvriers, complétaient un ensemble présentant une surface couverte de 5500^{mq}.

Parmi les bâtiments affectés à la fabrication de la poudre, les uns, au nombre de 16, destinés à recevoir des appareils mécaniques et désignés sous la dénomination ordinaire d'*usines*, étaient établis suivant le type adopté pour les poudreries françaises permanentes, c'est-à-dire avec trois côtés forts, une devanture et une toiture légères, de façon à diriger, en vertu de la différence de résistance des parois, les explosions du côté où leurs projections devaient présenter un moindre danger (*fig.* 2 à 6). Mais, comme l'époque avancée de la saison et la nécessité d'une rapide exécution ne permettaient pas l'emploi de la maçonnerie pour les côtés forts, ces derniers furent constitués au moyen de coffrages en chêne de 1^{m},50 d'épaisseur, remplis de terre bien damée, mode de construction qui présentait une résistance supérieure à celle qu'eût pu donner la maçonnerie (*fig.* 7). Les autres bâtiments, destinés à servir de *dépôts* pour les poudres en cours de fabrication et d'*ateliers* pour les opérations manuelles, ou d'abris pour les machines motrices, étaient établis en voliges dans les conditions du minimum de résistance compatible avec une solidité suffisante.

Les travaux, confiés, sous la surveillance du conducteur des ponts et chaussées Lefèvre, à M. Guillotin, entrepreneur de travaux publics, rue de Lourmel, 71, furent exécutés en 25 jours,

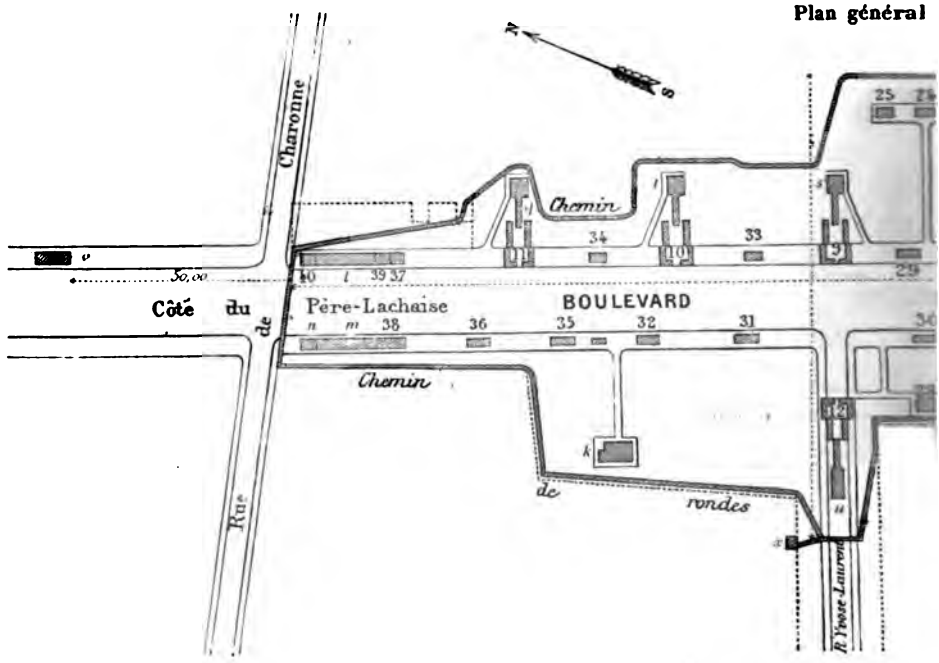
(1) Sauf quelques chétives masures, dont les locataires expulsés reçurent des indemnités pour perte de loyer.

(2) Le terrain ne fut livré par la ville que le 15 octobre, et la fabrication commençait le 2 novembre.

POUDRERIE PH

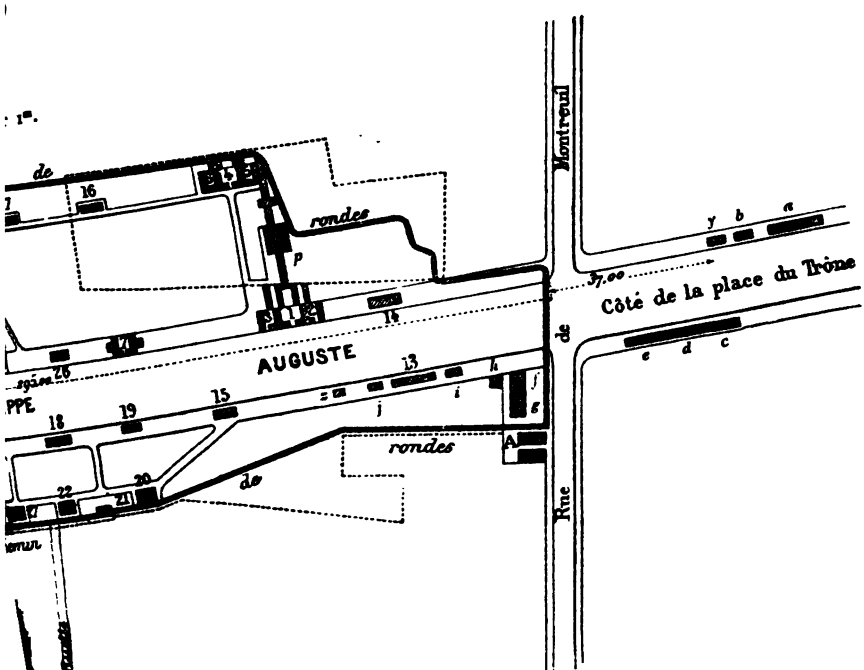
(Siége de F

Plan général



1. Tonnes binaires.
2. Tonnes ternaires.
3. Tonnes ternaires.
4. Tonnes binaires.
5. Tonnes ternaires.
6. Tonnes ternaires.
7. Presses hydrauliques.
8. Grenoirs anglais.
9. Tonnes de lissage.
10. Tonnes de lissage.
11. Tonnes de lissage.
12. Tonnes de lissage.
13. Composition binaire.
14. Composition ternaire.
15. Dépôt des matières ternaires.
16. Dépôt des matières ternaires.
17. Atelier de mouillage.
18. Atelier de mouillage.
19. Dépôt des matières humectées.
20. Presses hydrauliques.
21. Pompes pour presses hydrauliques.
22. Presses hydrauliques.
23. Presses hydrauliques.
24. Pompes pour presses hydrauliques.
25. Presses hydrauliques.
26. Dépôt des galettes.
27. Atelier de concassage.
28. Atelier de concassage.
29. Dépôt de
30. Atelier de
31. Atelier de
32. Dépôt de
33. Dépôt de
34. Dépôt de
35. Épousset
36. Épousset
37. Dépôt de
38. Atelier de
39. Dépôt de
40. Magasin

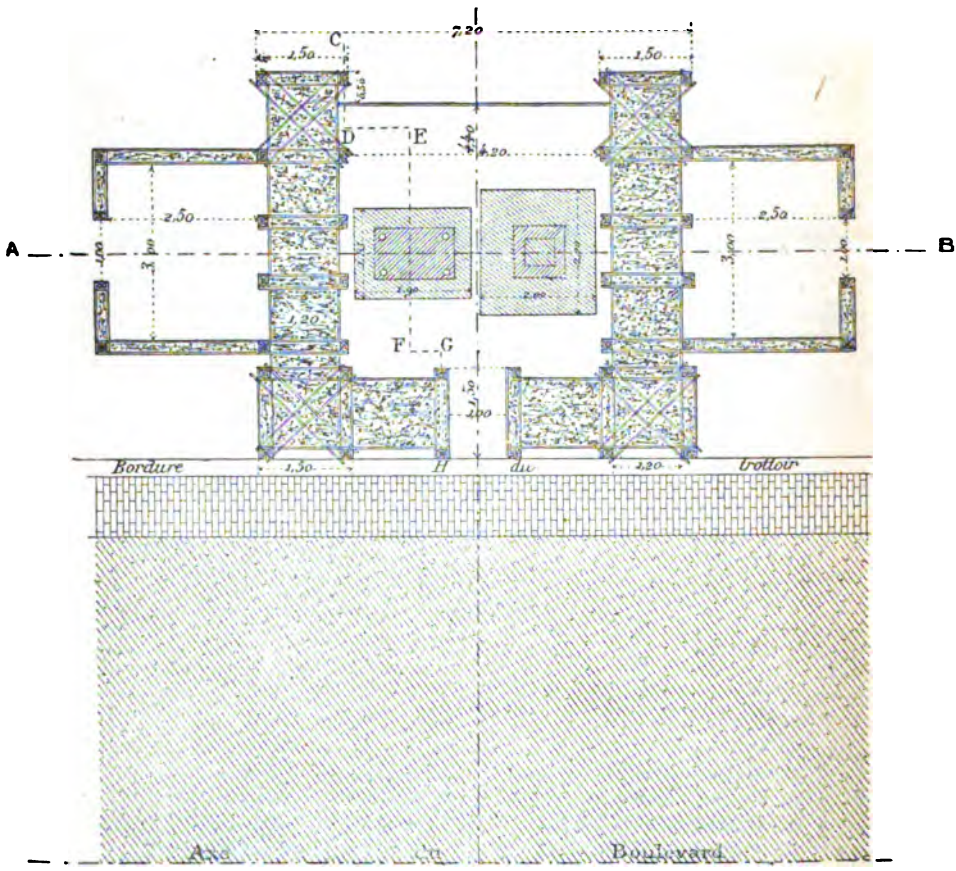
JGUSTE.


Montreuil
rondes
AUGUSTE
rondes
Côté de la place du Trône
Rue
de
de
de

avec tout le zèle et toute l'intelligence qu'on pouvait attendre de ce praticien distingué.

La dépense à laquelle ils ont donné lieu s'est élevée à 164 139^{fr}, 59.

Fig. 2.



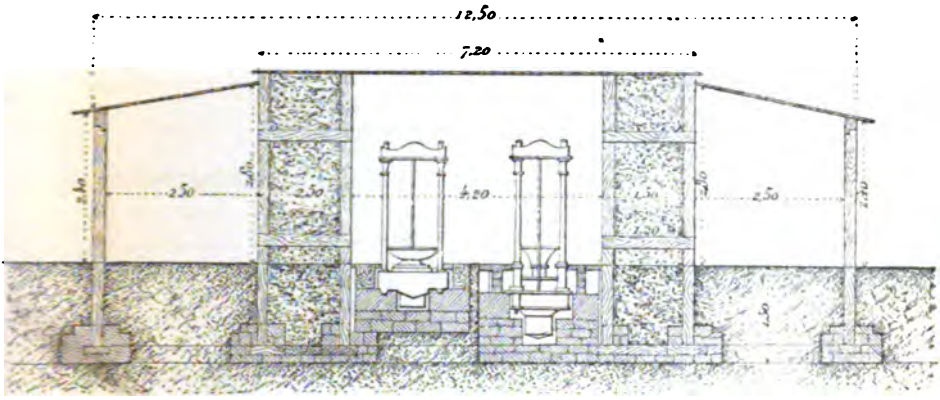
Appareils mécaniques. — Les usines renfermaient les appareils mécaniques suivants :

8 tonnes binaires en tôle de 1^{m},20 de longueur sur 1^{m},15 de diamètre, pour la trituration des matières réunies deux à deux, dans des proportions ne comportant pas un mélange explosif. Chacune de ces tonnes renfermait 120^{kg} de gobilles en bronze de

12^{mm} de diamètre, destinées à effectuer la trituration. Elles occupaient 2 usines de 4 tonnes chacune.

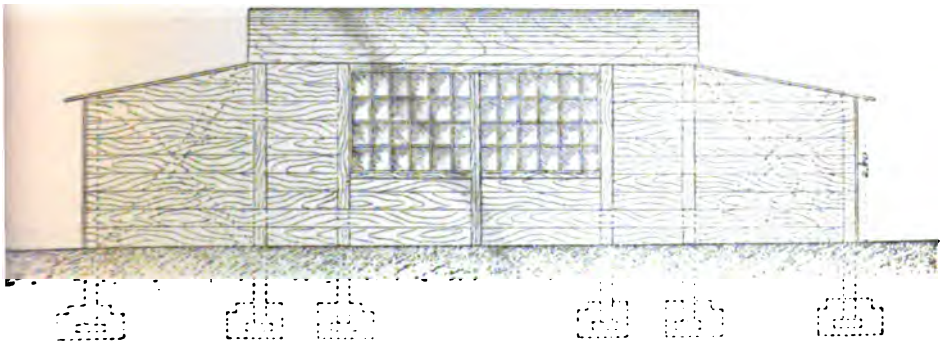
8 tonnes ternaires en cuir, de 1^{m},20 de longueur sur 1^{m},36 de

Fig. 3.



diamètre, destinées à compléter la trituration et à opérer le mélange des matières binaires, réunies dans la proportion des composants de la poudre. Ces tonnes, divisées, suivant l'usage, en

Fig. 4.

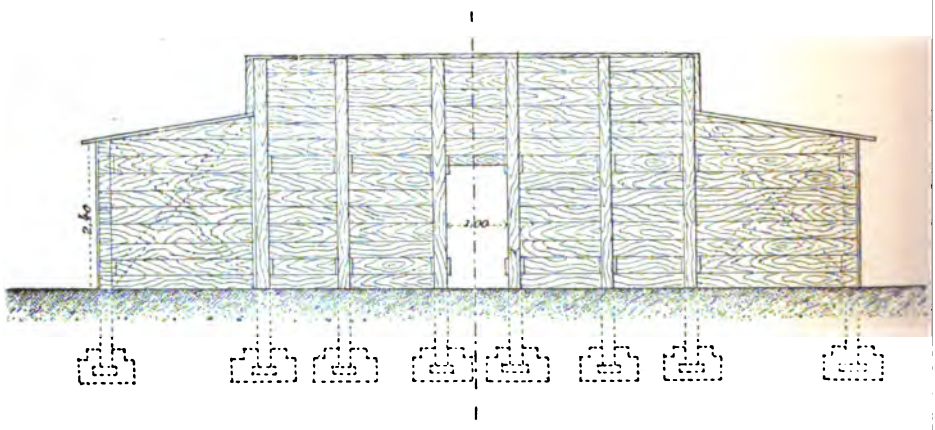


2 compartiments par une cloison parallèle aux fonds, recevaient, par compartiment, 60^{kg} de gobilles de 7^{mm}; elles étaient réparties par deux dans 4 usines.

10 presses hydrauliques, d'une puissance de 200 000^{kg}, munies chacune de 80 plaques carrées en cuivre rouge de 0^{m},50 de côté

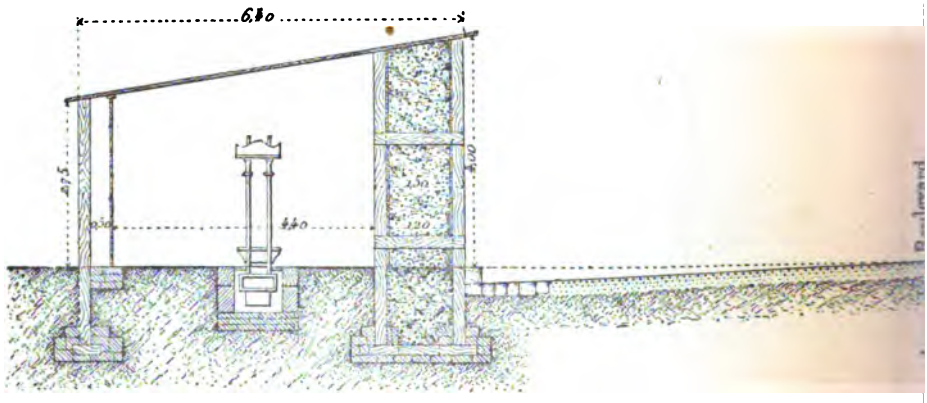
sur $1^{mm},5$ d'épaisseur et destinées à réduire en galette très dure la matière ternaire, lesdites presses réparties par deux dans 5 usines (1).

Fig. 5.



4 grenoirs à cylindres avec châssis de tamisage, lesdits appareils occupant une seule usine et destinés à réduire en grains les galettes

Fig. 6.

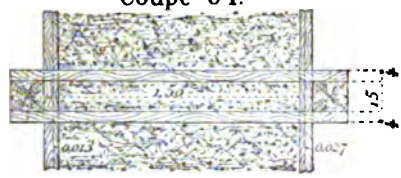


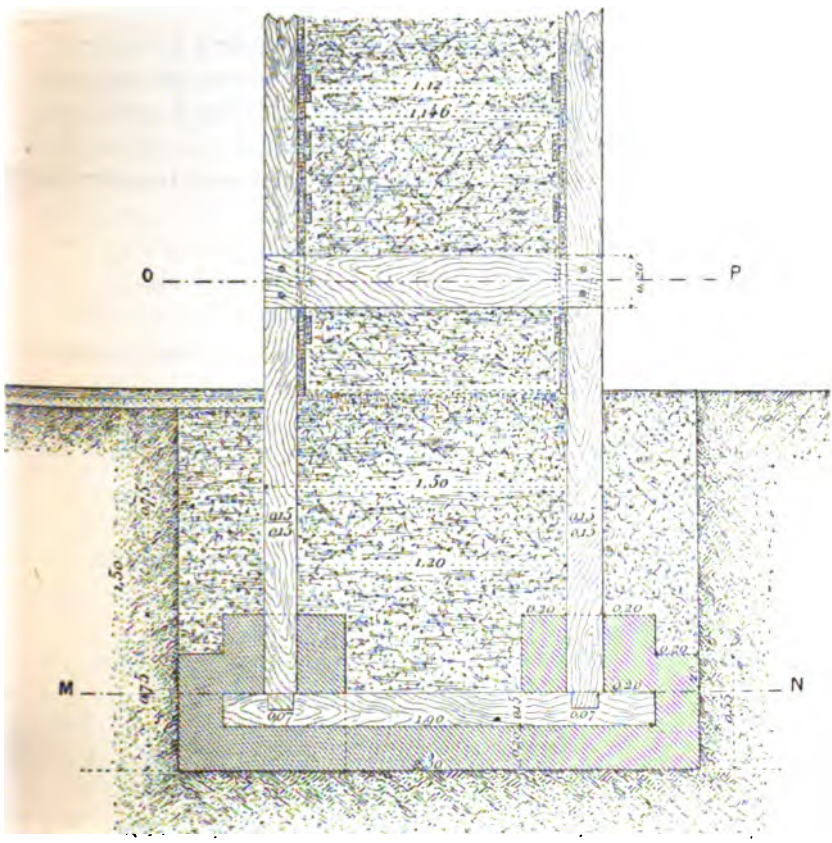
préalablement concassées et à opérer le tamisage des grains ainsi obtenus. L'ensemble d'un appareil comportait, à partir de sa

(1) Ces presses, qu'on dut se procurer dans le commerce, étaient nécessairement de formes très diverses, comme l'indiquent les *fig.* 2 et 3 ci-dessus.

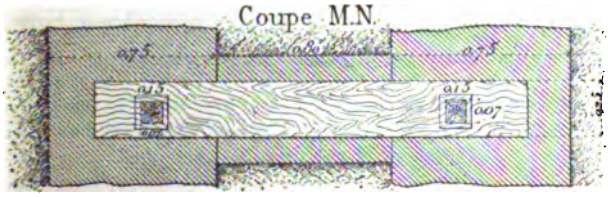
Fig. 7.

Coupe O P.





Coupe M.N.



partie supérieure : 1 *distributeur* consistant en une trémie qui recevait la galette concassée et dont la face inclinée était rendue mobile, de façon à permettre de modifier à volonté l'ouverture inférieure de la trémie; 1 *grenoir* proprement dit, consistant en 2 cylindres de 1^{m} de longueur sur $0^{m},20$ de diamètre, en bois de gaïac, juxtaposés horizontalement, entre lesquels la matière était saisie et écrasée par suite du mouvement que l'un des cylindres recevait de la machine et communiquait à l'autre par frottement (1); 1 *tamiseur,* de forme rectangulaire, de 2^{m} de longueur sur $0^{m},75$ de largeur, recevant d'un arbre coudé un mouvement de va-et-vient de $0^{m},25$ d'amplitude et portant dans son intérieur 3 toiles métalliques superposées, qui séparaient et versaient, par suite de leur pente de $0^{m},02$ par mètre, dans des barils distincts, les grains supérieurs à la perce de $2^{mm},5$, les grains ordinaires à canon compris entre $2^{mm},5$ et $1^{mm},2$, les grains à fusils chassepot entre $1^{mm},2$ et $0^{mm},5$, et les grains inférieurs mêlés au poussier. Quand le cylindre moteur du grenoir recevait une vitesse de 20 tours en 1^{min}, le cylindre distributeur avait une vitesse de 12 tours et l'arbre coudé du tamiseur une vitesse de 100 tours.

8 tonnes de lissage en bois de $1^{m},37$ de longueur sur $1^{m},66$ de diamètre, divisées en 2 compartiments par une cloison intermédiaire portant le plateau de fixation sur l'arbre, et destinées à opérer le lissage et le séchage simultanés des poudres. Une ouverture circulaire de $0^{m},60$ de diamètre, pratiquée au centre de chacun des fonds extérieurs, était munie de volets qui pouvaient être, à volonté, ouverts ou fermés.

Ces divers appareils étaient mis en mouvement par 7 machines à vapeur d'une puissance totale de 80 à 90 chevaux, établies à 25^{m} de distance des usines, auxquelles elles communiquaient la force motrice nécessaire au moyen de transmissions, installées à l'extérieur pour diminuer les chances d'accident.

M. l'ingénieur en chef KRETZ, des manufactures de l'État, s'était chargé de tous les détails concernant l'installation et le fonctionnement des machines et de leurs transmissions, et il apporta dans

(1) La commande du second cylindre par le premier au moyen de deux roues dentées, établie d'abord, produisait dans le travail un échauffement qui la fit supprimer dans la nuit qui suivit la mise en activité de l'usine.

l'accomplissement de cette mission, en même temps qu'une compétence exceptionnelle, un dévouement absolu.

Les appareils mécaniques, pour lesquels la moindre imperfection pouvait donner lieu aux plus graves accidents, ont été exécutés avec tout le soin apporté en temps normal à la construction de ces appareils. Ils ont été établis par M. Le Blanc, constructeur mécanicien, rue du Rendez-Vous, 26, lequel a déployé un zèle et une activité infatigables, pour arriver à en effectuer la pose dans le délai de 25 jours qui lui avait été fixé.

L'établissement desdits appareils a donné lieu à une dépense de 130219^{fr}, 40, qui ne représentait qu'une avance, attendu que ces appareils avaient été établis de manière à pouvoir être utilisés ensuite dans les poudreries permanentes.

Ustensiles. — Aux appareils mécaniques venait s'ajouter la nombreuse collection des ustensiles nécessaires aux opérations manuelles, collection qui comprenait, entre autres objets :

100 grands étouffoirs en tôle, pour renfermer le charbon trituré et les mélanges binaires susceptibles d'inflammations spontanées;

700 barils à main et 150 tines, pour les mouvements intérieurs de matières;

22 maies en bois, pour les opérations de l'humectage et du tamisage;

16 brise-galette en bois, à dents de cuivre, et 6 tables de 20^{m} de longueur totale, pour le concassage de la galette;

4 châssis à bras, munis chacun de 3 tamis, pour l'égalisage et l'époussetage des poudres, etc.

Ces appareils furent installés par les soins de M. Albert Rolland, qui était en outre chargé des opérations des ateliers de tonnellerie et d'enfonçage.

---

§ III.

FABRICATION DES POUDRES.

La construction des bâtiments et l'installation des appareils mécaniques étant terminées le 2 novembre, le travail de la fabrication

fut immédiatement organisé. Ce travail comportait les diverses opérations ci-après, dont la combinaison, convenablement entendue, a permis d'arriver, sans altérer la qualité des poudres, à une rapidité de production impossible à réaliser avec les procédés ordinaires du temps de paix.

Composition. — La nécessité d'obtenir simultanément, au moyen des mêmes appareils, les diverses espèces de poudres conduisit à adopter le dosage qui convenait à la poudre la plus soignée, c'est-à-dire à la poudre spéciale pour fusil chassepot, désignée par l'artillerie sous la dénomination de *poudre B* (1). Ce dosage, légèrement modifié après expérience, fut le suivant :

Salpêtre	76
Soufre	10
Charbon	14

Les matières, qui avaient déjà reçu à l'extérieur une trituration énergique et un tamisage soigné (p. 110), étaient pesées comme il suit, pour les triturations binaires :

Binaire salpêtre-charbon	salpêtre.	114 kg	123 kg
	charbon.	9	
Binaire soufre-charbon	soufre...	45	81 kg
	charbon.	36	

Trituration binaire. — 3 tonnes de chaque usine étaient destinées à la trituration du binaire salpêtre-charbon et recevaient chacune les 123 kg de matières composant ce binaire, pendant que la quatrième tonne recevait les 81 kg de binaire soufre-charbon.

La trituration pour l'un et l'autre binaire comportait une durée de 3 h à la vitesse de 25 tours en 1 min.

Le déchargement s'opérait, suivant l'usage, à la fin de l'opération, en remplaçant la porte pleine de chaque tonne par une porte grillée qui laissait passer les matières à poudre en retenant les gobilles.

Trituration ternaire. — Les matières étaient, au sortir des

(1) Type de poudre aux meules, proposé à Metz, en 1865, par M. le commissaire des poudres Mauroard, et adopté depuis pour la cartouche modèle 1866.

tonnes, reçues, puis enfermées dans des étouffoirs, où elles étaient conservées jusqu'au moment de leur pesage, pour la composition du mélange ternaire suivant :

$$\text{Ternaire....} \left\{ \begin{array}{ll} \text{Binaire salpêtre-charbon ....} & 106^{kg},60 \\ \text{Binaire soufre-charbon.....} & 23^{kg},40 \end{array} \right\} 130^{kg}$$

Chaque tonne ternaire recevait ainsi, à raison de 65^{kg} par compartiment, 130^{kg} de composition ternaire, dont la trituration durait 3^{h} à la vitesse de 22 tours en 1^{min}.

La vidange s'opérait comme pour les mélanges binaires, avec cette seule différence que le mélange, pour lequel la combustion spontanée n'était plus à craindre, était reçu dans des barils à main.

Les 8 tonnes produisaient environ 7000^{kg} de mélange en 24^{h}.

Humectage. — Les matières ternaires, parfaitement homogènes, étaient ensuite versées dans une maie, avec une proportion convenable de poussiers provenant des opérations ultérieures de la fabrication; puis le mélange ainsi obtenu était arrosé de 1,5 pour 100 d'eau, dont la répartition dans la masse, au moyen de râteaux, était complétée par un tamisage à bras.

Galetage. — La transformation de la matière pulvérulente en galette était opérée à la presse hydraulique entre des plaques de cuivre rouge, avec une interposition de toiles destinées à empêcher l'adhérence de la poudre sur le cuivre. Des couches de poudre, régulièrement formées dans un cadre en bois de $0^{m},03$ de hauteur, étaient successivement placées sur le plateau de la presse, dans l'intervalle de 1^{m} environ existant entre ce plateau et le sommier. Le nombre des couches ainsi superposées était de 33, soit environ 80^{kg} de poudre. La pression, exercée à raison de 100^{kg} par centimètre carré et maintenue pendant quelques minutes, réduisait l'épaisseur de chaque couche de poudre de $0^{m},03$ à $0^{m},01$.

Le fonctionnement simultané des 2 presses d'une usine donnait 2400^{kg} de galette, soit 12000^{kg} pour les 5 usines; ce qui, eu égard à la quantité de 10000^{kg} environ de matières à presser par jour tant en poussier qu'en composition neuve, laissait une usine disponible pour les réparations.

La marche des presses a présenté d'abord de grandes difficultés, par suite de la congélation de l'eau pendant les nuits froides de l'hiver; on a remédié à cet inconvénient en additionnant de glycérine l'eau introduite dans les pompes.

Essorage. — La galette était, au sortir de la presse, portée dans un dépôt, où un séjour de 24^{h} au moins était nécessaire pour l'*essorer,* en lui faisant perdre une partie de son humidité. La dureté de la galette devenait alors comparable à celle de la pierre.

Concassage. — Les morceaux de galette étaient ensuite portés à l'atelier de concassage, où ils étaient disposés les uns à côté des autres sur une table, où l'action des dents des brise-galette les réduisait en fragments irréguliers de o^{m},02 à o^{m},03 de côté.

Grenage. — Les grenoirs mécaniques, dits *grenoirs à retour,* ordinairement employés dans les poudreries françaises, ne produisant qu'environ 300^{kg} de grain par jour, il eût fallu, pour suffire à la production de la poudrerie Philippe-Auguste, au moins 20 usines de ce genre pour la seule opération du grenage; il fut donc indispensable de recourir à un appareil plus expéditif. On s'arrêta au grenoir à cylindres décrit ci-dessus, et, pour éviter la multiplicité des opérations manuelles, qui augmentent la dépense en même temps que le danger de la fabrication, on munit ce grenoir d'un appareil de tamisage analogue à celui qui avait, en 1855, été appliqué à Metz, par M. le commissaire des poudres Maurouard, à la fabrication du grain rond de poudre de mine. Le succès le plus complet a couronné cette tentative, puisque les 4 appareils de l'usine, servis par 8 ouvriers, débitaient par jour 12 000^{kg} de galette, en donnant un rendement en grain de 66 pour 100, composé proportionnellement comme il suit :

Gros grain.....	supérieur à 2^{mm},5.....	6,35		
Grain à canon.....	compris entre 2^{mm},5 et 1^{mm},2.	24,15	66	
Grain à fusil.....	compris entre 1^{mm},2 et o^{mm},5.	35,50		100
Fin grain et poussier.	inférieur à 1^{mm},5.....	34		

Lissage et séchage. — Le lissage et le séchage simultanés des poudres grenées s'opéraient suivant un procédé dû à M. le commissaire des poudres Laville, lequel a utilisé, pour l'évaporation

de l'eau, l'élévation de température qui se produit pendant le lissage. Ce procédé comporte la fermeture et l'ouverture successives des œillards latéraux de la tonne, pour permettre, dans la seconde période de l'opération, la sortie de la vapeur qui s'est dégagée dans la première.

Chaque tonne, chargée de 300^{kg} de poudre par compartiment, tournait pendant 16 heures consécutives à la vitesse de 12 tours en 1^{min}, dans les conditions suivantes :

8^h	avec les portes	fermées,
4^h	»	ouvertes,
2^h	»	fermées,
2^h	»	ouvertes.

Au bout de ce temps, on obtenait une poudre parfaitement lissée et contenant à peine 0,5 pour 100 d'humidité, proportion inférieure à l'humidité normale que la poudre reprend presque immédiatement en magasin.

Cette organisation du travail donnait par jour, pour chaque usine de 2 tonnes, 1800^{kg} de poudre, et, pour les 4 usines, 7200^{kg}.

Égalisage et époussetage. — La poudre refroidie était soumise, dans des tamis aux perces convenables, à un surégalisage qui séparait les grains trop gros et les galles produites par le lissage, et à un sous-égalisage qui enlevait les grains trop fins et le poussier.

Enfonçage. — L'enfonçage se faisait ensuite par quantités de 50^{kg} dans des barils qui étaient déposés dans un magasin, d'où ils étaient enlevés journellement dans des voitures d'artillerie, pour éviter des accumulations dangereuses dans le voisinage des habitations.

Épreuves de réception. — La comparaison des produits de la fabrication rapide du siège par les tonnes et presses avec ceux de la fabrication lente opérée en temps normal, au moyen des meules, ressort des résultats suivants de l'épreuve, qui fut faite au Dépôt

central, du premier lot de poudre à fusil B sorti de la poudrerie Philippe-Auguste :

DÉSIGNATION de la poudre.	NOMBRE de grains au gramme.	DENSITÉS		VITESSE au fusil-pendule pour une charge de 10gr.
		gravimétrique.	réelle.	
Poudre type, fabrication normale.....	1754	0,935	1,760	572m
Poudre du siège, fabrication intensive.....	1776	0,942	1,752	571,50

Les deux poudres étaient donc absolument comparables.

L'organisation du travail de la poudrerie, arrivée à son complet développement, atteignait régulièrement la production de 7000kg par jour, production énorme eu égard à la qualité des poudres qu'il s'agissait d'obtenir. L'artillerie pouvait ainsi compter sur des livraisons régulières dépassant 200 000kg par mois, que les approvisionnements en matières premières permettaient de continuer encore pendant près de 3 mois, ce qui eût porté à 800 000kg la production totale d'une fabrication de poudre organisée en 25 jours avec les seules ressources de la capitale.

Le 28 janvier, quand l'armistice vint brusquement interrompre le fonctionnement de l'établissement, les quantités de poudres fabriquées s'élevaient à 312 600kg, se divisant en 114 350kg de poudre à fusil, ayant permis la confection de 25 000 000 de cartouches, et en 198 250kg de poudre à canon, dont 20 500kg de poudre exceptionnelle à gros grains pour les canons de la marine.

Le fonctionnement de la poudrerie comporta l'emploi de 300 ouvriers, qui durent, à défaut de poudriers, être pris dans les professions les plus diverses, toutes étrangères à la fabrication de la poudre. Ce personnel inexpérimenté fut, il est vrai, soumis à une discipline des plus rigoureuses, et parfaitement guidé par

des chefs de service dont le dévouement ne faiblit ni nuit ni jour, pendant les trois mois de ce rude hiver : MM. les ingénieurs des poudres Sarrau, Lambert, Boutmy et Beigbeder, et un jeune chimiste, M. Boeswilvald, récemment sorti de l'École centrale, lesquels avaient sous leurs ordres les chefs poudriers Ponçot et Lanchou.

Les dangereuses opérations de la fabrication purent ainsi être poursuivies sans donner lieu au moindre accident, et il ne fut signalé que deux causes de danger imminent, lesquelles se produisirent l'une et l'autre en pleine nuit et consistèrent, la première dans un échauffement anormal des organes du grenoir à cylindres, et la seconde dans un incendie survenu dans la cheminée de la locomobile actionnant ce même grenoir. Dans cette dernière circonstance surtout, les flammèches tombaient en abondance sur la toiture légère d'une usine pleine de poudre, et le péril était grand; mais il fut, grâce au dévouement du personnel, promptement conjuré.

Il a bien fallu du reste, pour l'accomplissement d'une si lourde tâche, que l'ingénieur qui l'avait acceptée mît à profit la patriotique ardeur qui enflammait la population parisienne pendant ces tristes jours. S'il s'est décidé, après quinze années écoulées, à rappeler une œuvre malheureusement stérile, c'est que cette courte notice lui fournissait l'occasion d'exprimer à ses vaillants collaborateurs, dont plusieurs, parmi lesquels le très regretté Sainte-Claire Deville, ne sont déjà plus, le souvenir reconnaissant qu'il a gardé de leur concours.

Paris, 1er juillet 1885.

ÉTUDE SUR LE MODE

DE

DÉCOMPOSITION DE QUELQUES EXPLOSIFS;

PAR

M. SARRAU,

Ingénieur en chef des poudres et salpêtres,

ET

M. VIEILLE,

Ingénieur des poudres et salpêtres.

INTRODUCTION.

1. L'étude du mode de décomposition des explosifs, dans les diverses conditions de leur emploi, présente un intérêt à la fois théorique et pratique.

Lorsque l'on connaît, en effet, l'équation de décomposition d'un explosif correspondant à des conditions de déflagration déterminées, il est possible de déduire de la chaleur de formation de l'explosif, obtenue par des moyens indirects, la quantité de chaleur dégagée dans la réaction et d'évaluer d'une façon approximative les pressions que développerait en vase clos ce mode de décomposition.

Au point de vue pratique, l'étude des produits de la décomposition permet de décider si un explosif est utilisable dans les travaux de mine en galerie. Il importe, à ce point de vue, de faire une distinction essentielle entre les produits provenant de la décomposition des explosifs.

Les uns sont simplement irrespirables et asphyxiants à haute

dose, comme l'acide carbonique, l'azote, l'hydrogène et la vapeur d'eau; mais leur dilution suffisamment étendue dans l'air paraît sans action sensible sur l'organisme. Les autres sont, au contraire, de véritables poisons et peuvent donner lieu à des accidents, alors même qu'ils n'existent qu'en très petites quantités dans l'atmosphère : tels sont l'hydrogène sulfuré, l'oxyde de carbone, les vapeurs nitreuses, l'acide cyanhydrique, ou même des poussières solides, telles que le cyanure de potassium.

Enfin, quelques gaz peuvent former, par leur diffusion dans l'air, des mélanges détonants : tels sont l'hydrogène et l'oxyde de carbone; et l'on peut citer de graves accidents survenus dans les mines, par suite de l'emploi, sans précautions spéciales, d'explosifs dégageant de grandes quantités de ces derniers gaz.

2. Nous nous sommes proposé d'étudier à ces divers points de vue les principaux explosifs, et de rechercher pour quelques-uns d'entre eux les modifications susceptibles de faire disparaître les inconvénients que comporte leur emploi.

Dans ce travail nous étudions comparativement les produits formés par l'explosion :

1° Du coton-poudre et de diverses celluloses nitrées;
2° Du mélange de coton-poudre et de salpêtre;
3° Du mélange de coton-poudre et de nitrate d'ammoniaque;
4° De la dynamite;
5° De la nitromannite;
6° Du picrate de potasse;
7° De la poudre de mine ordinaire.

3. Les produits de la décomposition des explosifs sont très variables avec leur composition, et des différences considérables s'observent même entre les composés organiques formés d'éléments identiques, carbone, hydrogène, oxygène et azote. Parmi ces substances, en effet, les unes renferment, comme la nitroglycérine et la nitromannite, plus d'oxygène qu'il n'en faut pour assurer leur combustion complète, et, suivant une remarque de M. Berthelot, leur mode de décomposition peut être, en général, exactement prévu; les autres, comme le picrate de potasse, le coton-poudre et les nitrocelluloses en général, renferment une quantité d'oxygène insuffisante pour transformer la totalité de

l'hydrogène en eau et du carbone en acide carbonique. Une partie de ces éléments reste alors à l'état libre ou partiellement oxydée, et l'équilibre qui s'établit entre ces divers corps dépend des conditions dans lesquelles est produite la déflagration, et notamment du volume dans lequel ils se forment.

4. L'emploi pratique des explosifs donne lieu à deux modes de décomposition, dont l'étude est particulièrement importante. Ces modes de décomposition correspondent, soit à la *détonation franche* de l'explosif sous l'influence de l'amorce, soit à ce que l'on appelle les *ratés de détonation*. Ce dernier mode de décomposition n'est pas réalisé volontairement dans les opérations de mine; on l'observe lorsque l'explosion de la matière est provoquée par une amorce insuffisante, ou disposée dans des conditions défectueuses. L'explosif paraît fuser alors sous des pressions relativement faibles, en produisant des effets mécaniques bien inférieurs à ceux de la détonation franche.

L'étude directe de ces deux modes de décomposition présente de grandes difficultés pratiques.

Mais nous avons établi, en ce qui concerne le coton-poudre, que le mode de décomposition réalisé dans les ratés de détonation était identique à celui qui résulte de la combustion de la matière sous une pression voisine de la pression atmosphérique.

Nous avons vérifié, d'autre part, sur le même explosif, dans des conditions de chargement compatibles avec la résistance de nos appareils, que les produits de la détonation du coton-poudre en vase clos, sous l'influence de l'amorce, ne diffèrent pas de ceux que l'on obtient en enflammant le coton-poudre dans les mêmes conditions d'expérience au moyen d'un fil porté au rouge par un courant électrique.

Or, ce dernier mode de décomposition ne donne pas lieu aux effets locaux destructifs des appareils qui caractérisent les expériences de détonation.

Nous avons donc pu rechercher, par des expériences d'inflammation simple, la loi suivant laquelle les produits de la décomposition se modifient sous des densités de chargement croissantes, et, par suite, sous des pressions de plus en plus élevées.

Il paraît plausible de prendre, pour le mode de décomposition correspondant à la détonation, la limite vers laquelle semble tendre

le mode de décomposition en vase clos sous des pressions très élevées.

5. Nous avons effectué, dans les diverses conditions qui viennent d'être mentionnées, l'analyse volumétrique des produits gazeux fournis par les explosifs énumérés plus haut, et la mesure absolue du volume occupé, à la température zéro et sous la pression normale, par les gaz d'un poids déterminé d'explosif. En combinant ce résultat avec ceux de l'analyse volumétrique, on obtient, en litres, le volume de chacun des gaz formés par la décomposition d'un kilogramme de la substance.

Ce mémoire est divisé en 5 chapitres, dont voici l'objet :

1° Renseignements préliminaires;
2° Mesure du volume des gaz;
3° Analyse des produits de la décomposition;
4° Résumé;
5° Conclusions.

CHAPITRE PREMIER.

RENSEIGNEMENTS PRÉLIMINAIRES.

6. *Coton-poudre de guerre.* — Le coton-poudre employé dans nos expériences est un produit de la fabrication courante de l'usine du Moulin-Blanc.

Il a été obtenu en égrenant des slabs de coton-poudre comprimé, préparés par le procédé Abel, préalablement desséchés à la température de 35°. La poussière ainsi obtenue subissait, au moment de l'emploi, un nouveau séchage à la température de 100°.

L'analyse organique de la substance a donné, dans 2 expériences très concordantes, pour sa composition pondérale :

Carbone	0,244
Hydrogène	0,024
Azote	0,128
Oxygène	0,565
Eau	0,014
Résidu salin	0,025

7. *Coton azotique à collodion.* — L'échantillon sur lequel ont porté nos essais dégageait 283^{cc} de bioxyde d'azote par gramme; il répondait, par suite, sensiblement à la formule

$$C^{12}H^{7,9}(AzO^4)^{2,1}O^{10}.$$

Nous avons également expérimenté une cellulose faiblement nitrée répondant à la formule

$$C^{12}H^{8,4}(AzO^4)^{1,6}O^{10}.$$

8. *Mélange de coton-poudre et de nitrate de potasse.* — On l'a préparé en mélangeant par parties égales du coton-poudre pulvérulent avec du salpêtre pur, tel qu'il est employé

dans la fabrication des poudres. A cet effet, le coton-poudre a été mis en poussière, puis humecté à 40 pour 100 d'eau, et enfin additionné du salpêtre préalablement broyé.

Le mélange, trituré dans un mortier jusqu'à incorporation complète, était ensuite séché à 60° et mis en flacon bouché. L'humidité reprise était dosée avant chaque expérience.

9. *Mélange de coton-poudre et de nitrate d'ammoniaque.* — On l'a préparé en mélangeant 40 parties de coton-poudre pulvérulent, avec 60 parties de nitrate d'ammoniaque cristallisé. La proportion théorique correspondant à l'oxydation complète du pyroxyle est de 41,07 de fulmicoton et 58,93 de nitrate.

Le coton-poudre et le nitrate préalablement pulvérisés ont été séchés à 60° pendant 18 heures. On a fait les pesées sur les matières sèches, puis le coton-poudre, additionné de 40 pour 100 d'eau, a été trituré dans un mortier avec le nitrate d'ammoniaque jusqu'à incorporation complète. Le mélange séché à 60° était mis en flacon bouché et l'humidité reprise était dosée avant chaque expérience.

10. *Nitroglycérine.* — On a employé, dans les expériences sur la nitroglycérine, tantôt de la dynamite de Vonges, dont on déterminait exactement le dosage, tantôt de la dynamite préparée au Dépôt central. Dans ce dernier cas, la nitroglycérine était pesée pour chaque expérience à l'état pur, puis absorbée par une quantité de silice précipitée ou de randanite suffisante pour obtenir une dynamite très sèche et facilement combustible. Cette dynamite contenait environ 55 pour 100 de nitroglycérine.

11. *Nitromannite.* — La nitromannite a été préparée au dépôt central par un procédé analogue à celui qui est employé à Vonges pour la préparation de la nitroglycérine. L'échantillon destiné à l'étude du mode de décomposition a été purifié par cristallisation dans l'alcool. Un dosage d'azote, effectué par le procédé Schlœsing, a donné un taux d'azote inférieur de un centième et demi au chiffre théorique (291^{cc},6 de bioxyde d'azote par gramme au lieu de 295^{cc},8).

12. *Picrate de potasse.* — Le picrate soumis aux essais est du

picrate de potasse pur provenant d'une fourniture de 5000^{kg}, faite à la poudrerie de Sevran par la maison Billaut-Billaudot.

On a vérifié sur un échantillon que la quantité de potasse renfermée dans le sel est exactement la quantité théorique.

13. *Poudre de mine.* — Les essais ont porté sur un échantillon de poudre de mine ordinaire, au dosage :

Salpêtre	62
Soufre	20
Charbon	18

L'humidité a été trouvée de 0,99 pour 100.

14. *Nécessité d'une atmosphère inerte.* — La décomposition des divers explosifs dans les expériences qui ont eu pour but les mesures volumétriques, ou les analyses gazeuses, a été faite dans l'azote.

Il était facile de prévoir que la présence de l'air altérerait les résultats sous les faibles densités de chargement, et pour des explosifs ne contenant pas l'oxygène nécessaire à leur combustion complète. Il y avait donc lieu d'opérer dans une atmosphère inerte.

Le choix de cette atmosphère n'est pas sans influence sur la composition des produits dans le cas du coton-poudre. Il résulte de nos analyses qu'il se produit, entre les divers corps, les uns complètement oxydés CO^2 et HO, les autres incomplètement oxydés CO et H, un équilibre variable avec la densité moyenne des produits. On conçoit que cet équilibre soit modifié par l'introduction, avant l'explosion, de l'un des corps intervenant dans l'équilibre final; c'est ce que nous avons, en effet, constaté dans des essais préliminaires où l'atmosphère intérieure était constituée par l'acide carbonique.

L'azote se retrouvant au contraire à l'état libre, dans le cas des pressions élevées, on devait penser qu'une atmosphère de ce gaz serait sans influence sur l'état final, et c'est pour cette raison qu'elle a été adoptée dans nos expériences.

CHAPITRE II.

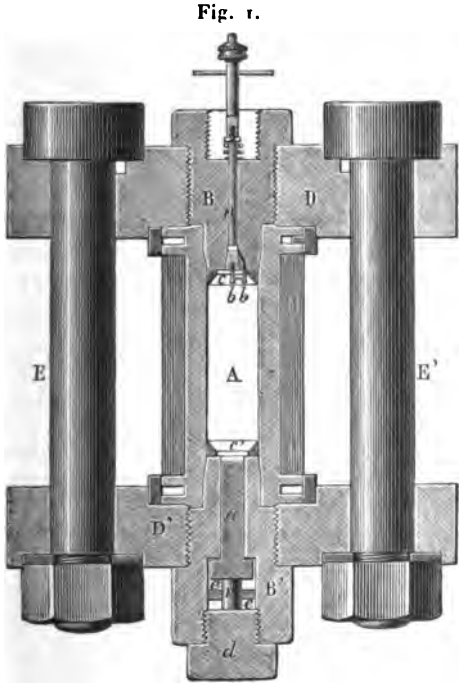
MESURE DU VOLUME DES GAZ.

15. Ce chapitre est divisé en deux parties, relatives, la première à la décomposition des explosifs en vase clos sous des pressions élevées; la seconde, à la décomposition des explosifs sous des pressions voisines de la pression atmosphérique.

I. — DÉCOMPOSITION DES EXPLOSIFS EN VASE CLOS, SOUS DES PRESSIONS ÉLEVÉES.

16. Pour les pressions supérieures à 500^{atm}, on a recueilli et

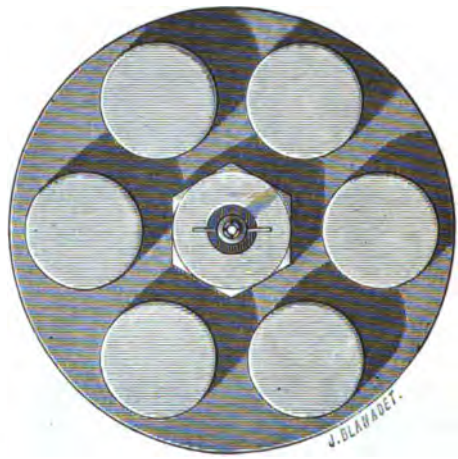
Fig. 1.



mesuré les gaz produits dans une éprouvette *manométriques,* en acier, sous des pressions mesurées par des crushers.

Pour les pressions inférieures, on a employé des éprouvettes *calorimétriques*, en acier, doublées de platine pour certaines expériences, dont la capacité considérable permettait d'opérer sur une quantité notable d'explosif avec de faibles pressions; mais ces éprouvettes ne permettaient pas la mesure des pressions. Les *fig.* 1, 2 et 3 indiquent suffisamment les dispositions générales de

Fig. 2.



ces appareils, dont la description complète trouvera place dans une étude ultérieure. Nous décrirons seulement en détail les dispositifs qui permettent de dégager régulièrement les gaz de ces deux récipients et de les recueillir sans perte. Nous décrirons ensuite l'appareil dans lequel se fait la mesure des volumes.

17. *Dispositifs d'évacuation des gaz:*

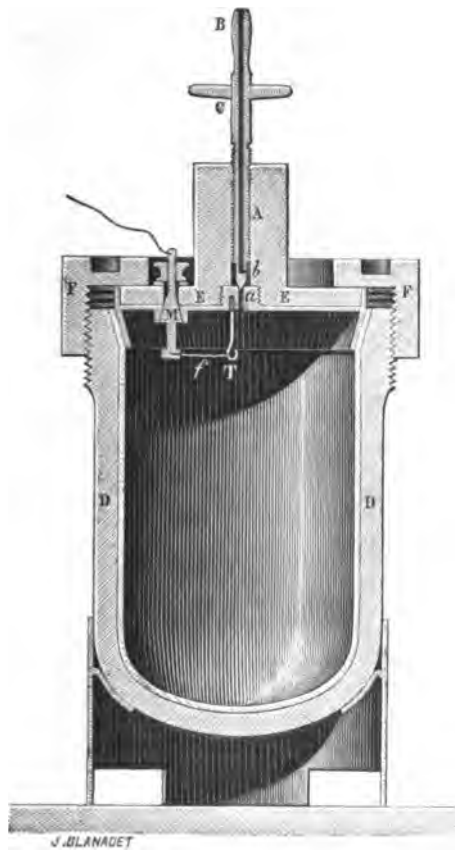
1° *Éprouvette calorimétrique.* — Cette éprouvette (*fig.* 3) porte à sa partie supérieure un canal capillaire *a* que vient obturer la pointe conique d'une tige filetée A. Cette tige est percée, suivant son axe, d'un canal qui débouche latéralement en *b* dans la chambre qui subsiste autour de la pointe.

L'extrémité supérieure B du canal forme ajutage et peut être coiffée d'un tube en caoutchouc.

Si l'on desserre la vis au moyen du bouton moleté C, les gaz renfermés dans l'éprouvette se dégagent autour du cône et s'échappent par le canal.

On évite toute fuite en filetant la tige en vis, à pas très fin, suffisamment longue. Le dégagement s'opère d'ailleurs très régulièrement, sous une pression de quelques millimètres de mercure.

Fig. 3.



2° *Éprouvette manométrique.* — Au début des essais, les gaz ont été recueillis au moyen d'un dispositif identique à celui qui vient d'être décrit, logé dans un bouchon spécial qu'on substituait au bouchon crusher, dans les expériences destinées à la mesure des volumes gazeux.

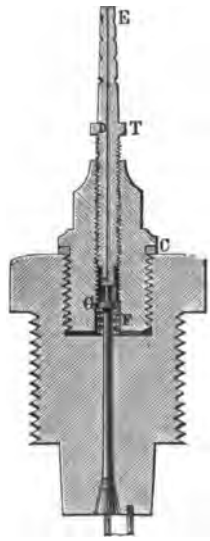
L'extrémité opposée de l'éprouvette restant forcément occupée par le bouchon de mise de feu, ce dispositif exigeait des expé-

riences séparées pour la mesure des volumes et pour celle des pressions. De plus, des avaries se produisaient sous les fortes tensions, par l'élargissement du canal capillaire et le refoulement de la tige conique.

On a supprimé ces inconvénients en recueillant les gaz par le bouchon de mise de feu convenablement modifié.

Le nouveau bouchon est représenté *fig.* 4. Après l'explo-

Fig. 4.



sion, on enlève la tige de mise de feu et l'on visse à fond la pièce T, de façon à faire joint sur le cuir gras C, puis, au moyen de la tige filetée et creuse D, on repousse légèrement la tige du cône de mise de feu. Les gaz s'échappent autour du cône et sont recueillis par l'ajutage E comme dans le cas précédent.

Pour éviter la chute du cône à l'intérieur de l'éprouvette et permettre de régler l'écoulement gazeux, ce cône est rappelé par e petit ressort F, bandé au moyen de l'écrou G.

18. *Appareil mesureur.* — Les gaz, dégagés comme il vient d'être dit, sont recueillis dans un appareil mesureur.

Cet appareil se compose d'un flacon rempli de mercure et dis-

posé dans une cuve à eau, permettant de maintenir les gaz à une température connue.

Les gaz pénètrent dans le flacon par la partie supérieure et déplacent une certaine quantité de mercure, qui s'écoule par une tubulure inférieure. On règle l'écoulement, d'après les indications d'un petit manomètre branché sur le tube de dégagement, de manière à rendre finalement la pression des gaz égale à la pression atmosphérique, et l'on mesure le volume qu'ils occupent alors par le poids du liquide déplacé. Lorsque le volume des gaz atteint 7^{lit} ou 8^{lit}, on ne peut plus utiliser le mercure. Nous avons eu recours à l'eau; mais, pour éviter de mettre les gaz solubles au contact de l'eau, on les reçoit dans une poche en caoutchouc mince, disposée à l'intérieur du flacon. Cette poche se dilate par l'introduction progressive des gaz, de manière à remplir au besoin la capacité entière du mesureur.

Nous n'insisterons pas sur les précautions qui permettent de purger d'air successivement le flacon et la poche, y compris le tube abducteur et le branchement du manomètre.

Dans certaines expériences, principalement celles où les gaz renferment de l'hydrogène sulfuré, on peut craindre que la paroi humide de la poche de caoutchouc n'absorbe une certaine quantité de gaz et ne fausse la mesure des volumes.

Pour éviter ces inconvénients, nous avons fait construire, par M. Golaz, un gazomètre spécial, qui permet de recueillir sur le mercure et de mesurer avec toute la précision désirable des volumes de gaz ne dépassant pas 10^{lit}.

19. *Gazomètre du Dépôt central.* — L'appareil se compose essentiellement (*fig.* 5) :

D'une cuve à mercure A, à section annulaire, dans laquelle plonge une cloche en verre B, qui sert à recueillir les gaz.

Cette cloche se meut à l'intérieur d'une deuxième grande cloche fixe en verre, remplie d'eau et munie, à sa partie supérieure, d'un entonnoir à déversoir D.

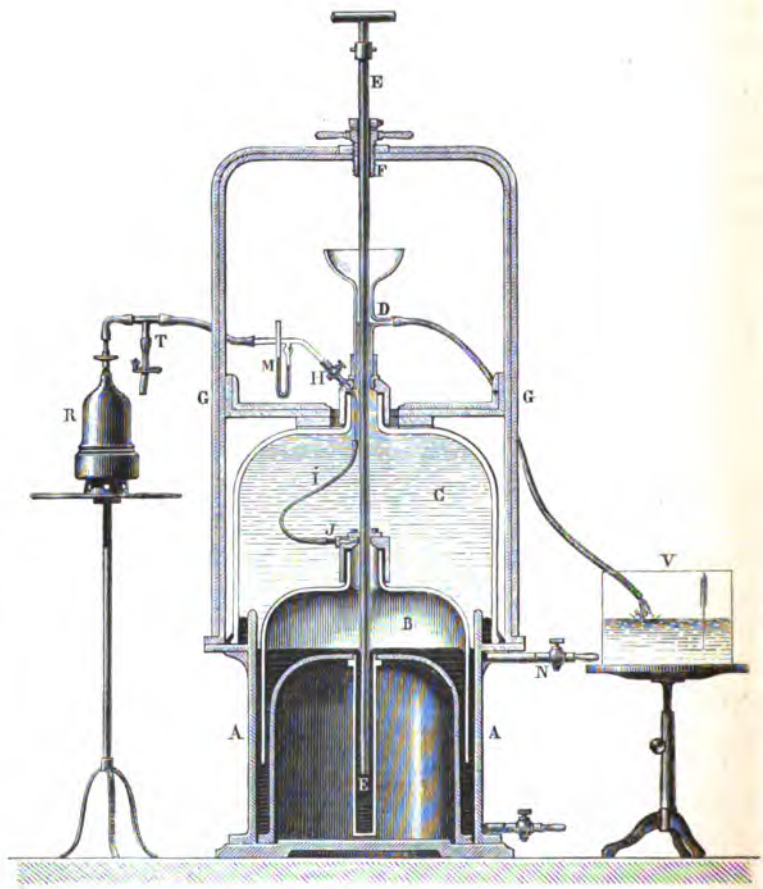
Le volume des gaz introduits dans la cloche B est mesuré par la quantité d'eau qui s'écoule par le déversoir D.

La cloche B est guidée dans son mouvement par la tige EE' qui coulisse, avec un jeu de plusieurs millimètres, d'une part dans

le tube cylindrique de la cuve à mercure et, d'autre part, dans la tubulure de l'entonnoir supérieur.

On peut, au moyen de cette tige, exercer à volonté une traction ou une compression sur la cloche et modifier la pression des gaz qu'elle renferme. Le relèvement de la cloche peut s'effectuer au

Fig. 5.



moyen d'une sorte de vis de rappel F, montée sur le châssis en fer qui maintient l'appareil, dont la figure ci-dessus fait suffisamment connaître la disposition.

Les gaz sont introduits dans la cloche B par le robinet H et le

tube flexible I, qui vient coiffer une tubulure J, ménagée sur la douille de la cloche mobile.

20. *Marche d'une opération.* — La tubulure du récipient R, qui renferme les gaz à mesurer, est reliée, par un tube fort de caoutchouc, au robinet H, avec interposition d'un petit manomètre M à robinet. On fait le vide par un tube en T disposé près de la bombe, jusqu'au moment où le mercure, aspiré de la cuve, arrive en M.

On ferme par une pince et l'on remplit d'eau l'appareil par l'entonnoir, jusqu'au moment où cette eau s'écoule par le déversoir. On peut uniformiser la température de cette eau par un courant d'air insufflé par le robinet N. A ce moment le gazomètre est prêt à fonctionner. On desserre le robinet à pointe de la bombe et l'eau s'écoule par le déversoir dans un vase taré. En ouvrant le robinet du manomètre M, on vérifie sous quelle pression se fait l'écoulement du gaz. Lorsque l'eau cesse de couler, le volume recueilli (1) est égal au volume du gaz, sorti de la bombe sous une pression indiquée par le manomètre et à la température de l'eau de l'enceinte.

Il est commode de supprimer toute correction de pression et de ramener le gaz à la pression atmosphérique en soulevant la cloche par la vis de rappel F, d'après les indications du manomètre et en recueillant la nouvelle quantité d'eau qui s'écoule.

21. Les résultats d'expérience sont consignés dans les tableaux suivants, qui font connaître :

Le poids de la substance décomposée.....	ϖ
La densité de chargement de l'éprouvette.....	Δ
Le volume d'eau ou de mercure recueilli.....	V
La température du bain.....	t
La pression barométrique.....	p
Le volume des gaz par unité de poids de la substance sèche.....	w_0
La moyenne des volumes mesurés.	

(1) En négligeant la légère correction que nécessite l'émersion de la tige cylindrique.

TABLEAU I.

Coton-poudre de guerre.

N^os d'ordre.	ϖ.	Δ.	V.	t.	p.	w_0.	MOYENNES	OBSERVATIONS.
	gr		lit	o	mm		lit	
1	3,00	0,0098	2,1357	17,9	757,0	658,5	658,5	Humidité : 1,11
2	3,00	0,0098	2,1309	17,9	757,0	658,5		» 1,11
3	7,00	0,023	4,973	18,5	762,7	671,4		» 2,63
4	7,00	0,023	5,053	18,5	762,7	671,9	670,8	» 1,11
5	7,00	0,023	5,000	17,5	764,1	669,1		» 1,11
6	6,40	0,2	4,612	16,6	761,0	675,1		» 1,11
7	6,40	0,2	4,706	16,2	753,1	682,3	680,8	» 1,11
8	6,40	0,2	4,627	17,6	770,0	685,0		» 1,50

Les résultats obtenus aux charges de 3^{gr} et 7^{gr} proviennent d'expériences exécutées dans une éprouvette calorimétrique en acier de 300^{cc} de capacité.

Les expériences 6 à 8, à la charge de 6^{gr},40, ont été faites dans une éprouvette manométrique en acier de 32^{cc}.

TABLEAU II.

Coton-poudre au nitrate de potasse.

N^os d'ordre.	ϖ.	Δ.	V.	t.	p.	w_0.	MOYENNES	OBSERVATIONS.
	gr		lit	o	mm		lit	
1	7,00	0,023	2,024	21,0	759,1	263,0	261,4	Humidité : 0,50
2	7,00	0,023	1,945	12,3	746,2	259,8		» 0,99
3	9,60	0,3	3,0135	18,9	758,2	289,3	289,3	» 0,99
4	16,00	0,5	4,982	19,1	763,2	288,7	288,7	» 0,63

Les expériences 1 et 2, à 7^{gr}, ont été faites dans l'éprouvette calorimétrique en acier de 300^{cc}.

Les expériences 3 et 4 dans l'éprouvette manométrique de 32^{cc}, également en acier.

TABLEAU III.

Coton-poudre au nitrate d'ammoniaque.

N° d'ordre.	ϖ.	Δ.	V.	t.	p.	w_0.	MOYENNES	OBSERVATIONS.
	gr		lit	°	mm		lit	
1	3,00	0,0098	1,2114	11,9	766,0	384,7	384,7	Humidité négligeable.
2	7,00	0,023	2,8167	9,4	766,0	387,6	388,1	
3	7,00	0,023	2,8420	10,9	766,1	388,6		
4	6,60	0,2	2,6556	2,0	741,8	387,1	387,1	

Les expériences 1, 2 et 3 ont été faites dans l'éprouvette calorimétrique en acier de 300^{cc}; l'expérience 4, dans l'éprouvette manométrique en acier de 32^{cc}.

TABLEAU IV.

Nitroglycérine.

N° d'ordre.	ϖ.	Δ.	V.	t.	p.	w_0.	MOYENNES	OBSERVATIONS.
								Expériences effectuées dans des récip. en acier:
	gr		lit	°	mm		lit	
1	5,00	0,016	2,261	4,2	777,6	452,0	455,4	Le poids se rapporte à la nitroglycérine pure pour les expériences 1, 2 et 3.
2	5,00	0,016	2,283	2,4	772,5	456,9		
3	5,00	0,016	2,272	1,0	772,7	457,4		
4	6,4	0,2	2,1285	9,1	772,4	448,8	448,8	Le poids est celui de la dynamite à 72 pour 100 pour les expér. 4 et 5.
5	9,6	0,3	3,1696	5,4	776,3	456,8	456,8	
6	3,00	0,0098	1,513	17,6	760,7	465,0	465,0	Récipient en platine.

Les premières expériences (1 à 3), effectuées dans des récipients en acier, donnent, pour le volume des gaz fournis par 1^{kg} de nitroglycérine, des chiffres notablement inférieurs au chiffre théorique 467^{lit},2. Cette infériorité est due à l'oxydation des parois du récipient par l'oxygène dégagé dans la décomposition de la nitroglycérine. On a retrouvé à $\frac{1}{2}$ centième près le volume théorique par l'emploi d'une éprouvette garnie de platine (expérience 6).

TABLEAU V.

Nitromannite.

N° d'ordre.	ϖ.	Δ.	V.	t.	p.	w_0.	OBSERVATIONS.
	gr gr		lit	o	mm	lit	
1	4 + 0,2 dynam.	0,0140	2,1969	18	753,7	482,2	Corrigé du volume gazeux dégagé par l'amorce.

On s'est proposé de vérifier seulement si, dès les faibles densités de chargement, le mode de décomposition de la substance était conforme à celui qui résulte de l'équation théorique de combustion complète. La matière a été enflammée par l'intermédiaire de $0^{gr},2$ de dynamite à 75 pour 100 de nitroglycérine, dans une bombe de platine.

L'écart de $\frac{2}{100}$ avec le chiffre théorique $493^{cc},8$ s'explique, ainsi qu'on le verra plus loin, par la production d'une trace d'acide azotique et par le taux de nitrification un peu faible de l'échantillon.

TABLEAU VI.

Picrate de potasse.

N°s d'ordre.	ϖ.	Δ.	V.	t.	p.	w_0.	MOYENNES	OBSERVATIONS.
	gr		lit	o	m m			
1	3	0,0098	1,807	11,9	761,0	570,1	lit	Le picrate de potasse a été complètement desséché avant l'emploi.
2	7	0,023	4,209	9,7	761,2	574,7	574,1	
3	7	0,023	4,209	11,0	763,5	573,5		
4	7,29	0,30	4,486	19,5	758,5	560,3	557,9	
5	7,29	0,30	4,504	23,0	761,3	555,2		
6	12,15	0,50	6,835	19,4	756,7	511,4	(?)	La faiblesse de ce chiffre fait craindre une légère fuite.

Les expériences 1, 2 et 3 ont été faites dans la bombe calorimétrique en acier de 300^{cc}. Les expériences 4, 5 et 6 dans la bombe manométrique, également en acier, jaugeant $24^{cc},3$.

TABLEAU VII.

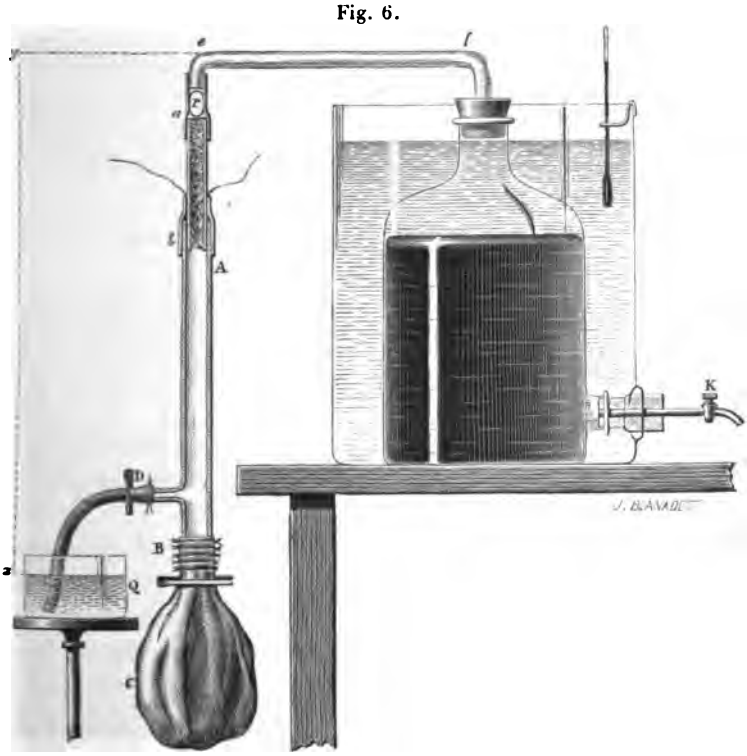
Poudre de mine ordinaire.

N° d'ordre.	ω.	Δ.	V.	t.	p.	w_0.	OBSERVATIONS.
	gr		lit	°	mm	lit	Éprouvette manométrique en acier de 32^{cc} :
1	19,2	0,6	5,736	1,5	769,1	303,7	Humidité : 1,00.

II. — DÉCOMPOSITION DES EXPLOSIFS SOUS UNE PRESSION VOISINE DE LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE.

22. *Dispositif de prélèvement des gaz* (*fig.* 6). — La sub-

Fig. 6.



stance explosive (1^{gr} environ) est tassée dans un petit tube

taré *ab* de 4^{mm} de diamètre intérieur et de 50^{mm} à 60^{mm} de longueur.

La partie supérieure de ce tube est fermée par un petit robinet Bunsen; à cet effet, elle s'engage dans un tube de caoutchouc, bouché par un petit morceau de baguette de verre *r* amené au contact de l'explosif.

La partie inférieure communique avec une poche de caoutchouc par l'intermédiaire d'un tube AB de 150^{mm} de longueur. Le joint des tubes AB et *ab* s'obtient au moyen d'un anneau de caoutchouc.

Une tubulure latérale capillaire D reçoit un tube de caoutchouc fermé par une pince.

Pour chasser l'air de l'appareil, on introduit dans la poche 10^{cc} à 15^{cc} d'eau. On aspire par D, en desserrant la pince jusqu'à ce que le liquide arrive au niveau de la tubulure et l'on place une pince en B, ce qui permet de cesser l'aspiration. On fait alors arriver par D un courant d'acide carbonique. On donne issue au gaz en pinçant le caoutchouc en *a* sur le robinet Bunsen. Un jaugeage a donné le volume compris entre le niveau D et l'extrémité *b* du petit tube, de façon à permettre de tenir compte du volume d'acide carbonique introduit.

Lorsque l'air est chassé, il ne reste qu'à assurer tous les joints par des ligatures et à retirer la pince en B.

La substance, enflammée par un fil rougi, brûle lentement, et les gaz qui en résultent dilatent la poche en donnant lieu à une pression intérieure très faible.

23. *Appareil mesureur.* — Dès que les gaz sont refroidis, on les conduit par un tube capillaire *ef* dans un flacon plein de mercure, placé dans une enceinte d'eau.

Il suffit pour cela de coiffer l'extrémité du tube *ef* par le caoutchouc *a*; on pince le robinet de Bunsen, et l'on ouvre le robinet K en recueillant le mercure qui s'écoule.

La poche se contracte et l'eau qu'elle renferme arrive en D. On met alors une pince en B et l'on retire celle de la tubulure D, que l'on met en communication avec une capsule Q pleine d'eau. On continue l'écoulement du mercure jusqu'au moment où l'eau s'élève en *e*. A ce moment, on a recueilli tout le gaz sous un

volume mesuré par le poids du mercure écoulé, à la température du bain et sous une pression égale à la pression atmosphérique diminuée du poids d'une colonne d'eau, de hauteur égale à la distance xy entre les niveaux du tube ef et du liquide dans la capsule Q.

24. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau ci-dessous, qui fait connaître :

Le poids de la substance décomposée..... ϖ
Le poids du mercure recueilli..... P
La température du bain..... t
La pression barométrique..... p
La colonne d'eau soulevée..... h
Le volume de gaz par kilogramme de matière..... w_0

TABLEAU VIII.

N° d'ordre.		ϖ	P	t	p	h	w_0
		gr	kg	°		mm	lit
1	Coton-poudre pur..	0,80	6,851	14,8	759,0	270	565,2
2	Coton-poudre au nitrate de potasse..	0,85	2,611	15,2	763,0	350	195,7
3	Coton-poudre au nitrate d'ammoniaque.....	1,30	8,031	10,2	762,0	267	413,1
5	Nitroglycérine (dynamite à 72 %...	1,30	6,079	4,6	772,2	267	452,9

Les chiffres de ce tableau ne doivent être considérés que comme approximatifs, parce que de petites portions de la matière projetées par la combustion échappent à la décomposition.

Le picrate de potasse et la nitromannite n'ont pu être employés dans ces conditions d'expériences à cause de l'excessive vivacité de décomposition du premier explosif et de la difficulté que l'on éprouve à enflammer et à faire brûler régulièrement le deuxième.

CHAPITRE III.

ANALYSE DES PRODUITS.

25. Ce chapitre est, comme le précédent, divisé en deux parties relatives : la première, à l'analyse des produits de la décomposition des explosifs en vase clos sous des pressions élevées; la deuxième, à l'analyse des gaz produits sous des pressions voisines de la pression atmosphérique.

I. — Analyse des produits de décomposition en vase clos sous des pressions élevées.

26. Cette analyse comprend pour les produits de la combustion du coton-poudre et du picrate de potasse : l'analyse des gaz, des résidus solides et liquides.

Pour les autres explosifs, on s'est borné à l'analyse volumétrique des produits gazeux.

27. *Analyse volumétrique des gaz.* — On a, dans la plupart des expériences, recueilli directement sur le mercure les produits gazeux à leur sortie des éprouvettes.

Dans quelques expériences qui n'ont pu être réitérées, on a dû faire porter l'analyse sur les gaz ayant passé dans la poche humide employée dans la mesure des volumes. Une expérience de contrôle, dans un cas particulièrement défavorable, a montré que l'influence de cette poche était sensiblement négligeable.

On a absorbé :

L'hydrogène sulfuré par le sulfate de cuivre ;

L'acide carbonique et l'acide cyanhydrique } par la potasse ;

Le bioxyde d'azote par le sulfate de protoxyde de fer;

L'oxyde de carbone par des traitements méthodiques au chlorure cuivreux.

On a déterminé l'hydrogène par combustion et le gaz des marais par dosage de l'acide carbonique produit. L'oxygène est donné par le pyrogallate de potasse.

Les absorptions ont été faites dans des pipettes DOYÈRE (modification SALET), les mesures de volume au moyen de l'eudiomètre mesureur de M. SCHLOESING (1). Cet eudiomètre est une combinaison de l'eudiomètre REGNAULT et de la pipette DOYÈRE. On détermine les volumes successifs du gaz après son passage dans les divers absorbants et les combustions successives, en le ramenant à un volume constant et mesurant les pressions correspondantes.

28. Les tableaux ci-après résument les résultats de l'analyse pour les divers explosifs. Ces tableaux font connaître la densité moyenne des produits de la décomposition dans les éprouvettes, ainsi que les proportions de gaz en volumes.

a. — Coton-poudre pur.

La décomposition du coton-poudre, en vase clos, donne lieu à des produits presque exclusivement gazeux. On observe néanmoins le dépôt d'une quantité d'eau notable, d'une trace de charbon et d'un résidu solide formé de carbonate de soude, de carbonate de chaux, de silice et d'oxyde de fer.

29. *Analyse des produits gazeux.* — Les expériences ont été faites sous des densités de chargement variant de 0,0098 à 0,3, les pressions correspondant à ces limites étant 100^{atm} et 4000^{atm} environ.

---

(1) Nous ne saurions trop insister sur la facilité et la précision des mesures obtenues à l'aide de cet appareil, et nous prions M. SCHLOESING d'agréer nos remercîments pour la bienveillance avec laquelle il nous a autorisés à en étudier le maniement dans son laboratoire.

TABLEAU IX.

N°s d'ordre.		CO.	CO^2.	H.	Az.	C^2H^4.	OBSERVATIONS.
1	0,0098	49,31	21,71	12,66	16,38	"	
2	0,023	43,24	23,72	17,28	15,67	"	
3	0,023	43,50	24,73	16,10	15,67	"	
4	0,023	43,39	24,65	16,31	15,65	"	
5	0,023	43,41	24,53				Analyse inachevée, destinée à fixer la teneur en oxyde de carbone et à établir l'absence de gaz des marais.
6	0,023	42,77	24,89	16,05	16,32	0,14	
7	0,2	37,08	28,66	18,42	15,32	0,52	
8	0,2	38,14	26,74	18,36	16,13	0,66	
9	0,3	34,99	30,47	17,76	15,22	1,56	
10	0,3	35,71	30,21	17,26	15,47	1,35	
11	0,3	33,90	31,37	17,25	15,73	1,75	
12	0,3	34,22	30,35	17,36	15,85	1,62	

30. *Dosage de l'eau.* — Pour doser l'eau produite dans la déflagration du coton-poudre. On dégage les gaz de l'éprouvette à travers des tubes à chlorure de calcium.

L'opération terminée, on chasse le cône de mise de feu à l'intérieur de l'éprouvette et l'on munit l'ouverture d'un bouchon traversé par un tube recourbé. L'éprouvette est mise à l'étuve à 100° et est traversée par un courant d'air sec. L'eau est recueillie dans les tubes à chlorure de calcium employés pour la première partie de l'opération. On arrête quand deux pesées des tubes, faites à trente minutes d'intervalle, ne diffèrent que de $0^{gr},001$ à $0^{gr},002$.

31. *Analyse des résidus solides.* — Le résidu de carbone étant insignifiant, on a procédé par essai direct en attaquant par l'acide azotique pur $3^{gr},391$ de coton-poudre. Le résidu a été repris par l'acide azotique et évaporé à sec jusqu'à la disparition de toute trace charbonneuse; il pesait $0^{gr},125$. On a traité par l'eau bouillante, filtré et calciné le filtre. On a obtenu un résidu de 0,007, composé presque exclusivement d'oxyde de fer.

La partie soluble renferme des traces de chaux et de la soude à l'état d'azotate. En passant par le calcul au poids du carbonate de

soude correspondant, on a trouvé que 1^{gr} de coton-poudre renferme :

Carbonate de soude.....	0,0217
Silice oxyde de fer.....	0,0021
Résidu total.....	0,0238

32. *Analyse pondérale des produits de la décomposition du coton-poudre.* — Les résultats des déterminations précédentes permettent de calculer la proportion pondérale des produits de la décomposition du coton-poudre. Les chiffres suivants se rapportent à la déflagration de 7^{gr} de fulmicoton dans l'éprouvette calorimétrique remplie d'azote, la densité moyenne des produits étant 0,023.

L'humidité du coton-poudre, prise au moment de l'expérience, a été trouvée de 1,43 pour 100.

Acide carbonique.....	0,3230
Oxyde de carbone.....	0,3611
Hydrogène.....	0,0096
Azote.....	0,1310
Eau.....	0,1519
Résidu salin.....	0,0238
	1,0004

De ces chiffres résulte une composition élémentaire que nous rapprochons, comme vérification, de celle qu'a donnée l'analyse organique de la substance.

TABLEAU X.

DÉSIGNATION DES ÉLÉMENTS.	COMPOSITION EN POIDS DÉDUITE	
	de l'analyse des produits.	de l'analyse organique.
Carbone.....	0,2428	0,244
Hydrogène.....	0,0249	0,024
Azote.....	0,1310	0,128
Oxygène.....	0,5636	0,565
Eau.....	0,0143	0,014
Résidu.....	0,0238	0,024

b. — Coton-poudre au nitrate de potasse.

33. La proportion de salpêtre introduite dans le mélange étant supérieure à celle qui est nécessaire pour assurer la combustion complète, la réaction limite pouvait être prévue. On s'est proposé seulement de reconnaître dans quelles conditions cette limite était atteinte, et l'analyse volumétrique des gaz a paru suffisante pour cet objet.

On s'est borné à l'essai qualitatif du résidu solide qui est formé de carbonate de potasse avec des proportions d'azotites variables suivant la nature plus ou moins complète de la réaction.

TABLEAU XI.

N^os d'ordre.	Δ.	CO.	CO^2.	H.	Az.	C^2H^4.	O.
1	0,023	4,94	59,53	1,77	33,76	"	"
2	0,023	5,04	59,46	1,75	33,75	"	"
3	0,3	"	52,31	"	37,09	"	10,60
4	0,5	"	52,24	"	37,04	"	10,72

c. — Coton-poudre au nitrate d'ammoniaque.

34. Les remarques relatives au mélange précédent s'appliquent au coton-poudre mélangé de nitrate d'ammoniaque. Le dosage répond sensiblement à l'oxydation complète. Le mélange ne donne lieu à aucun résidu solide. On retrouve une forte proportion d'eau liquide après refroidissement. Les expériences ont été faites dans des récipients en acier.

TABLEAU XII.

N^os d'ordre.	Δ.	CO.	CO^2.	H.	Az.	C^2H^4.	O.
1	0,0098	"	46,75	"	53,25	"	"
2	0,023	"	45,60	"	54,40	"	"
3	0,023	"	45,80	"	54,20	"	"
4	0,2	"	45,68	"	54,32	"	"

d. — Nitroglycérine.

35. Les expériences destinées à la vérification de l'équation théorique de décomposition ont été effectuées dans des éprouvettes en acier.

TABLEAU XIII.

N°s d'ordre.	Δ.	CO.	CO^2.	H.	Az.	C^2H^4.	O.
1	0,013	"	63,14	"	32,57	"	4,29
2	0,013	"	63,64	"	32,24	"	4,21
3	0,200	"	63,06	"	33,45	"	3,49

On a constaté, dans l'eau provenant de la décomposition, la présence d'une petite quantité d'acide azotique, soit $12^{gr},8$ (AzO^5HO) par kilogramme de nitroglycérine.

e. — Nitromannite.

36. On a vérifié l'exactitude de la réaction théorique par le dosage de l'acide carbonique produit dans la décomposition. On a obtenu, à la charge de 4^{gr} dans une bombe de platine de 300^{cc}, $2^{gr},450$ d'acide carbonique au lieu de $2^{gr},420$. Ce léger excès peut s'expliquer par le taux de nitrification un peu faible observé pour l'échantillon cristallisé sur lequel ont porté les essais. On a observé, comme pour la nitroglycérine, la production d'une petite quantité d'acide azotique, soit $10^{gr},8$ d'acide (AzO^5HO) par kilogramme de nitromannite.

f. — Picrate de potasse.

37. *Analyse des gaz.* — Le dosage de la faible quantité d'acide cyanhydrique contenue dans les gaz a été effectué au moyen d'expériences spéciales, et en opérant sur la totalité du mélange gazeux. A cet effet, les gaz, en sortant de l'éprouvette, traversent un barbotteur Schloesing (modification Reiset) renfermant une dissolution de potasse. Le dosage s'effectue sur cette liqueur par le procédé Fordos et Gélis.

TABLEAU XIV.

N°s d'ordre.	Δ.	C^2AzH.	CO^2.	CO.	C^2H^4.	H.	Az.
1	0,023	1,98	8,56	62,10	0,17	10,31	16,88
2	0,300	0,32	13,37	59,42	2,38	6,77	17,74
3	0,500	0,31	20,48	52,88	5,39	2,68	18,26

38. *Analyse du résidu solide.* — La combustion du picrate de potasse en vase clos donne un résidu solide important, composé de carbonate de potasse, de cyanure de potassium et d'une trace de charbon, qui disparaît complètement dans certaines conditions de déflagration, à la densité de chargement 0,3 notamment.

Pour doser le cyanure de potassium, on dissout la totalité du résidu solide, provenant d'une expérience, dans l'eau distillée, et on lave le récipient en recevant les eaux de lavage dans un flacon jaugé, après les avoir fait passer sur un filtre pour séparer, s'il y a lieu, le charbon. Le dosage est fait sur la liqueur claire par le procédé Fordos et Gélis.

Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

TABLEAU XV.

CONDITIONS de chargement.	PROPORTIONS de cyanure de potassium par gramme de picrate.	PROPORTIONS de potasse convertie en cyanure.	NATURE DU RÉSIDU ET TAUX DE CHARBON par gramme de picrate de potasse.
	gr	pour 100.	
0,003	0,090	36,9	2 expér. Résidu légèrement charbonneux.
0,023	0,075	29,8	3 » Résidu charbonneux.
0,300	0,085	34,7	4 » Résidu blanc, sans trace de charb.
0,500	0,059	24,3	5 » Résidu charbonneux (2 expériences), poids du charb., 0,004 p. 100

g. — Poudre de mine ordinaire française.

39. On s'est proposé seulement de recueillir des éléments de comparaison avec les autres explosifs, en ce qui concerne la nature et le volume des gaz, dégagés dans la décomposition de la poudre de mine. L'analyse du résidu solide n'a pas été faite.

TABLEAU XVI.

N^os d'ordre.	A.	CO.	CO^2.	H.	Az.	C^2H^4.	HS.
1	0,3	20,05	49,39	2,02	21,26	0,29	6.99
2	0,6	20,95	49,35	1,36	21,40	1,36	5,55

II. — ANALYSE DES GAZ PRODUITS SOUS DES PRESSIONS VOISINES DE LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE.

40. Les gaz provenant de la combustion sous des pressions voisines de la pression atmosphérique ont été recueillis dans un appareil précédemment décrit. Les résultats obtenus pour les explosifs azotés sont résumés dans le tableau suivant :

TABLEAU XVII.

DÉSIGNATION de la substance.	AzO^2.	CO.	CO^2.	H.	Az.	C^2H^4.
Coton-poudre pur.....	24,68	41,94	18,39	7,90	5,81	1,28
» au nitrate de potasse	36,16	29,53	28,99	1,64	3,44	0,24
» au nitrate d'ammon.	29,46	15,84	24,84	2,86	27,00	//
Nitroglycérine.....	48,18	35,86	12,72	1,59	1,29	0,27

41. L'étude des produits gazeux de la décomposition des explosifs azotés, sous des pressions voisines de la pression atmosphérique, a été entreprise pour avoir des renseignements sur la

nature des gaz fournis dans les mines, dans les cas de *ratés de détonation*.

En effet, dans la plupart des cas dont il s'agit, la substance simplement enflammée par l'amorce fuse lentement sous de faibles pressions. L'expérience suivante nous a d'ailleurs permis d'établir que le mode de décomposition qui se produit alors dans un milieu peu résistant est tout à fait assimilable à celui que nous avons réalisé dans nos appareils.

On a immergé, dans une pièce d'eau, un fort entonnoir en tôle de $0^{m},40$ d'ouverture, dont la tubulure a été munie d'un tube en caoutchouc. On a disposé au-dessous une boîte métallique étanche renfermant un demi-cube de coton-poudre sec du poids de 30^{gr}, et portant une tubulure munie d'une capsule au fulminate de mercure. L'explosion a été déterminée par l'intermédiaire d'une amorce Abel, au moyen d'un coup de poing Breguet.

Cette expérience, qui avait pour but de recueillir directement les gaz de la détonation, a donné lieu accidentellement à un raté de détonation; c'est ce qui résulte de la faiblesse de l'explosion observée et de la petite quantité de gaz dégagée.

On a recueilli toutefois 2^{lit} ou 3^{lit} de gaz qui ont été soumis à l'analyse.

Nous rapprochons, dans le tableau suivant, la composition de ces gaz de celle des produits obtenus par la combustion sous la pression atmosphérique.

TABLEAU XVIII.

DÉSIGNATION DES GAZ.	RATÉ de détonation.	COMBUSTION sous la pression atmosphérique.
Bioxyde d'azote	27,96	24,68
Oxyde de carbone	45,07	41,94
Acide carbonique	14,05	18,39
Hydrogène	6,91	7,90
Azote	4,54	5,81
Gaz des marais	1,47	1,28

Dans l'explosion sous l'eau, on a dû perdre une quantité notable

d'acide carbonique. En tenant compte de cette circonstance, on doit conclure, d'après les chiffres du tableau, à l'identité à peu près complète des deux modes de décomposition.

CHAPITRE IV.

RÉSUMÉ.

a. — Coton-poudre de guerre.

42. *Formule du coton-poudre.* — Nous avons fait connaître (chapitre I, n° 6) la composition pondérale du coton-poudre déduite de l'analyse organique et cette composition a été vérifiée (chapitre III, n° 32) par l'analyse élémentaire des produits de la décomposition. En déduisant des chiffres obtenus l'humidité et le résidu salin, il résulte, pour la composition élémentaire du coton-poudre pur et sec :

Carbone	0,254
Hydrogène	0,025
Azote	0,133
Oxygène	0,588

On peut rapprocher du taux d'azote déduit de l'analyse organique celui que l'on obtient par l'emploi de la méthode de dosage de M. Schloesing. Sous l'influence des sels de fer au minimum le coton-poudre du Moulin-Blanc dégage 210^{cc} de bioxyde d'azote par gramme d'explosif sec, soit 215^{cc} par gramme d'explosif sec et pur. On en déduit le nombre 0,135 pour la teneur d'azote en poids.

Ces résultats peuvent s'interpréter en considérant l'échantillon éprouvé comme un mélange de 3 équivalents de cellulose trinitrée

et 1 équivalent de cellulose binitrée

$$3[C^{12}H^{7}(AzO^{4})^{3}O^{10}] + C^{12}H^{8}(AzO^{4})^{2}O^{10},$$

correspondant à la formule brute

$$C^{48}H^{29}Az^{11}O^{84}.$$

En effet, la composition élémentaire donnée par cette formule

Carbone.....	0,252
Hydrogène.....	0,025
Azote.....	0,135
Oxygène.....	0,588

ne diffère pas sensiblement de celle qui a été déduite de l'expérience.

43. *Formules de décomposition.* — Nous avons consigné dans le tableau IX la proportion en volume des gaz produits, par la décomposition du coton-poudre sous diverses densités de chargement Δ. En prenant les moyennes des nombres trouvés pour une même valeur de Δ, on obtient le tableau suivant, qui montre comment la proportion de chacun des gaz produits en vase clos varie avec le volume que ces gaz occupent. Nous rapprochons de la composition gazeuse le volume des gaz permanents dégagés par 1^{kg} de la matière explosive à 0° et sous la pression 760, d'après les moyennes du tableau I :

TABLEAU XIX.

Δ.	CO.	CO^{2}.	H.	Az.	$C^{2}H^{4}$.	W_{0}
						lit
0,0098	0,493	0,217	0,127	0,164	"	658,5
0,023	0,431	0,244	0,165	0,159	"	670,8
0,2	0,376	0,277	0,184	0,157	0,006	680,8
0,3	0,345	0,307	0,171	0,158	0,016	"

Il résulte de ce tableau que, lorsque la densité moyenne des produits augmente, la proportion d'oxyde de carbone diminue progressivement, celle de l'acide carbonique variant en sens inverse. On remarque, de plus, la production croissante, mais secondaire, du gaz des marais, dont l'absence même à l'état de trace

aux faibles densités de chargement a été vérifiée par des expériences qualitatives spéciales (1).

Les formules suivantes, qui représentent très bien la composition des gaz produits dans les quatre conditions du tableau ci-dessus, montrent suivant quelle loi la décomposition de la substance se modifie par la pression. Les pressions ont varié entre les limites de 100^{atm} et 4000^{atm} environ.

Ces formules correspondent à la décomposition d'un équivalent de coton-poudre

Δ	$C^{48}H^{29}Az^{11}O^{84} =$
0,0098.....	$33CO + 15CO^2 + 8H + 11Az + 21HO$
0,023.....	$30CO + 18CO^2 + 11H + 11Az + 18HO$
0,2.....	$27CO + 21CO^2 + 14H + 11Az + 15HO$
0,3.....	$26CO + 22CO^2 + 15H + 11Az + 14HO$

Elles indiquent que, pour des valeurs croissantes de la densité de chargement, l'oxyde de carbone et l'acide carbonique tendent à se produire en volumes égaux, suivant la formule

$$(1) \qquad C^{48}H^{29}Az^{11}O^{84} = 24CO + 24CO^2 + 17H + 11Az + 12HO,$$

et l'on peut admettre que cette formule représente sensiblement le mode de décomposition réalisé dans les conditions ordinaires de la pratique qui utilisent généralement le coton-poudre sous de fortes densités de chargement.

b. — Celluloses azotiques diverses.

44. Le mode de décomposition des celluloses azotiques de degré de nitrification inférieur à celui du coton-poudre, telles que le coton azotique destiné à la fabrication du collodion, n'a pas été l'objet d'une étude complète. Nous citerons toutefois les résultats suivants qui montrent de quelle manière se modifient, pour les produits faiblement oxygénés, les réactions qui viennent d'être signalées.

---

(1) Nous avons eu recours à la méthode proposée par M. Berthelot pour déceler des traces de carbure d'hydrogène dans un mélange gazeux : cette méthode consiste à soumettre le gaz à l'action de l'étincelle électrique. On obtient ainsi de l'acétylène, carbure pour lequel il existe un réactif d'une extrême sensibilité (chlorure cuivreux ammoniacal).

1° *Coton azotique à collodion.* — L'échantillon sur lequel ont porté nos essais dégageait 283^{cc} de bioxyde d'azote par gramme ; il répondait sensiblement à la formule

$$C^{12}H^{7,9}(AzO^4)^{2,1}O^{10}.$$

Le tableau suivant donne, pour deux conditions de chargement très différentes, la composition des produits gazeux obtenus, les pressions variant entre les limites de 150^{atm} et 4000^{atm} environ :

	Densité moyenne des produits.	
	0,023	0,35
Acide carbonique	22,25	33,25
Oxyde de carbone	45,05	31,53
Gaz des marais	0,12	4,58
Hydrogène	19,31	16,30
Azote	13,27	14,34
Volume des gaz	713,9	»

La combustion a lieu sans résidu appréciable.

Ces résultats mettent en évidence la transformation de l'oxyde de carbone en acide carbonique aux dépens de l'oxygène de la vapeur d'eau ; mais la formation simultanée, et croissant avec la pression du gaz des marais, empêche l'augmentation du taux d'hydrogène de devenir sensible et produit même le résultat inverse : on reconnaît, d'ailleurs, que la somme des volumes d'hydrogène libre et combiné sous forme de gaz des marais va constamment en croissant.

Cette réaction était déjà nettement appréciable dans les expériences relatives au coton-poudre, mais elle n'était que secondaire.

2° *Cellulose faiblement nitrée.* — Les expériences ont porté sur une cellulose très faiblement nitrée, qui peut être considérée comme le type extrême des celluloses nitrées susceptibles d'être employées comme explosif. Cette matière, obtenue par trempage dans les acides faibles, dégageait 153^{cc} de bioxyde d'azote par gramme ; elle répondait à la formule

$$C^{12}H^{8,4}(AzO^4)^{1,6}O^{10} \quad \text{ou sensiblement} \quad C^{24}H^{17}(AzO^4)^3O^{20}.$$

Le tableau suivant donne, pour diverses conditions de charge-

ment, la composition des gaz produits par la déflagration de la substance dans une atmosphère inerte :

	Densité moyenne des produits.	
	0,02	0,3
Acide carbonique	12,86	17,23
Oxyde de carbone	52,08	44,84
Gaz des marais	5,18	17,98
Hydrogène	21,71	11,44
Azote	8,35	8,41
Volume des gaz en litre par gramme	684^{lit},6	664^{lit}
Résidu solide	Résidu abondant de charbon fortement azoté représentant 9,74 % du poids de l'explosif.	Résidu blanchâtre faible légèrement charbonneux, formé presque exclusivement de bicarbonate d'ammoniaque.

Nous retrouvons, dans la décomposition des celluloses de faible nitrification, la transformation, sous pression croissante, de l'oxyde de carbone en acide carbonique libre, bien qu'une partie de cet acide carbonique soit éliminée sous forme de carbonate d'ammoniaque dans la deuxième expérience; mais on voit, de plus, s'accentuer dans des proportions énormes, avec la pression, la production du gaz des marais aux dépens de l'hydrogène. Grâce à cette réaction, la transformation de l'explosif en produits gazeux devient sensiblement complète. Contrairement à ce que nous avons observé pour le coton-poudre, l'azote ne se retrouve pas en totalité à l'état libre : une forte proportion reste combinée, soit sous forme de charbon azoté, soit sous forme de carbonate d'ammoniaque. Nous retrouverons la même tendance dans l'étude de la décomposition de tous les produits peu oxygénés, tels que le picrate de potasse.

c. — Coton-poudre au nitrate de potasse.

45. L'analyse des gaz fournis par la décomposition d'un mélange, à poids égaux, de coton-poudre et de nitrate de potasse (chapitre V, tableau XVII) montre que l'oxydation de l'explosif est incomplète sous les faibles densités de chargement, bien que

la proportion de l'oxydant soit notablement supérieure à celle qui correspond théoriquement à une combustion complète. Mais, à la densité 0,3 et aux densités supérieures, l'oxyde de carbone disparaît et la décomposition du mélange s'effectue régulièrement avec dégagement d'oxygène en excès.

La formule de la réaction est la suivante :

$$(2)\qquad \left\{\begin{array}{l} C^{48}H^{29}Az^{11}O^{84} + 12(AzO^5KO) \\ \quad = 36\,CO^2 + 23\,Az + 19\,O + 29\,HO + 12\,CO^2KO. \end{array}\right.$$

Cependant cette formule donne une composition des gaz un peu différente de celle qui résulte de l'expérience. Pour le même volume d'azote, les proportions d'acide carbonique et d'oxygène sont moindres en fait qu'en théorie. Nous attribuons la différence à une formation de bicarbonate de potasse par refroidissement des produits dans l'éprouvette et, au fait, déjà signalé, de l'oxydation des parois métalliques. Le bicarbonate n'existant pas aux températures élevées, il y a lieu de supposer que l'équation (2) s'applique effectivement aux conditions d'emploi pratique de l'explosif.

d. — Coton-poudre au nitrate d'ammoniaque.

46. Le mélange de 40 de coton-poudre et de 60 de nitrate d'ammoniaque réalise une combustion complète, même sous de très faibles densités de chargement (chapitre III, tableau XII).

Les résultats de l'analyse montrent que la réaction correspond à l'équation

$$(3)\qquad \left\{\begin{array}{l} C^{48}H^{29}Az^{11}O^{84} + 22(AzO^6HAzH^3) \\ \quad = 48\,CO^2 + 55\,Az + 117\,HO + 3\,O, \end{array}\right.$$

dont le premier membre représente exactement la composition du mélange (déduction faite de l'humidité et du résidu salin contenu dans le coton-poudre) et dont le second membre est établi, en supposant que la décomposition du nitrate engendre, suivant un des modes étudiés par M. Berthelot (1), de l'oxygène, de l'azote et de l'eau.

L'analyse n'a pas signalé l'oxygène dans le mélange gazeux, sans doute par suite de l'oxydation de l'éprouvette. Le volume des

(1) *Ann. Chim. Phys.* : [4] **3** 68 et suiv.

autres gaz, par kilogramme du mélange, est de 392^{lit}, d'après l'expérience, et de $395^{lit},8$, d'après la formule.

e. — Nitroglycérine.

47. Suivant une remarque de M. Berthelot (1), la composition des produits d'une explosion peut être prévue quand l'explosif contient assez d'oxygène pour transformer les éléments en composés stables au plus haut degré d'oxydation. Cette condition est remplie par la nitroglycérine, dont la décomposition doit être théoriquement représentée par l'équation

$$(4) \qquad C^6H^5Az^3O^{18} = 6CO^2 + 3Az + O + 5HO.$$

Cette formule exige un dégagement de $467^{lit},2$ de gaz permanents par kilogramme. Le volume observé dans l'expérience n° 6, tableau IV, concorde, à $\frac{1}{2}$ centième près, avec le chiffre théorique; la production d'une trace d'acide azotique explique d'ailleurs cet écart.

D'après cette même équation, le volume de l'acide carbonique est double de celui de l'azote.

Cette proportion se vérifie, en effet, par l'expérience n° 2 (chapitre II, tableau IV). Cette expérience est d'ailleurs la meilleure de la série, les gaz ayant été pris directement dans l'éprouvette. La vérification est moins bonne par l'expérience n° 3; mais, dans ce cas, les gaz ayant été analysés après passage dans l'appareil mesureur ont pu être mélangés avec une petite quantité d'air, ce qui produit un surdosage apparent de l'azote. De plus, l'influence de la poche humide employée dans l'opération a pu faire disparaître un peu d'acide carbonique. Dans tous les cas, de l'oxygène a été perdu par l'oxydation des parois.

En fait, on peut adopter l'équation (4) pour représenter la décomposition de la nitroglycérine dans les conditions ordinaires de son emploi.

f. — Nitromannite.

48. Cet explosif contient, comme la nitroglycérine, une quantité d'oxygène supérieure à celle qu'exige la combustion com-

(1) *Sur la force de la poudre et des matières explosives*, 2e éd., p. 78.

plète de ses éléments carboné et hydrogéné. Sa décomposition a lieu suivant l'équation théorique

$$C^{12}H^{8}(AzO^{4})^{6}O^{12} = 12CO^{2} + 6Az + 4O + 8HO,$$

ainsi qu'il résulte des expériences de mesure de volume des gaz permanents et de dosage de l'acide carbonique produit.

g. — Picrate de potasse.

49. L'étude du mode de décomposition du picrate de potasse conduit, en ce qui concerne la nature des produits gazeux, à des résultats analogues à ceux qui ont été observés pour le coton-poudre.

La réaction de décomposition subit des variations notables lorsqu'on fait déflagrer, dans une même capacité close, des poids croissants de matière, de façon à faire varier la densité moyenne des produits.

50. *Composition des gaz.* — Le tableau suivant donne, pour diverses conditions de chargement, la composition des gaz et leur volume à la température de 0° et sous la pression normale, les pressions variant entre les limites de 150^{atm} et 4000^{atm} environ :

	Densité moyenne des produits.		
	0,023	0,3	0,5
Acide cyanhydrique	1,98	0,32	0,31
Acide carbonique	10,56	13,37	20,48
Oxyde de carbone	62,10	59,42	50,88
Gaz des marais	0,17	2,38	5,39
Hydrogène	10,31	6,77	2,68
Azote	16,88	17,74	18,26
	100,00	100,00	100,00
Volume des gaz (0°, 760^{mm}) par 1^{kg}.	$574^{lit},1$	$557^{lit},9$	»

On observe, dans ce tableau comme dans celui qui a été présenté à l'occasion du coton-poudre, la transformation, sous pression croissante, de l'oxyde de carbone en acide carbonique aux dépens de la vapeur d'eau ; la formation simultanée et croissant avec la pression du gaz des marais empêche l'augmentation de la proportion d'hydrogène de devenir sensible et produit même le résultat inverse ; mais on reconnaît que la somme des volumes

d'hydrogène libre et combiné sous forme de gaz des marais va constamment en croissant. Cette réaction était déjà nettement appréciable dans nos expériences sur le coton-poudre, mais elle n'était que secondaire.

51. *Résidu solide.* — Le résidu solide présente également, suivant les conditions de chargement, certaines modifications. Il est formé de carbonate de potasse, de cyanure de potassium en proportion considérable et renferme de petites quantités de charbon atteignant $\frac{1}{1000}$ en poids environ sous les fortes pressions.

La proportion de potasse, transformée en cyanure dans le résidu pour les divers essais, est donnée dans le tableau ci-joint :

	Densité moyenne des produits.		
	0,023	0,3	0,5
Proportion de potasse transformée en cyanure pour 100.....	29,8	34,7	24,3
Aspect du résidu.....	Lég^{t} charb.	Blanc.	Charbonn.

Les expériences, faites à la densité de 0,5, sont à peu près représentées par l'équation

$$8C^{12}H^{2}K(AzO^{4})^{2}O^{2} = 2KCy + 6CO^{2}KO + 21CO^{2} + 52CO + 22Az + 3C^{2}H^{4} + 4H + 7C;$$

mais les chiffres donnés plus haut montrent qu'il y a tendance au remplacement des trois derniers termes par

$$4C^{2}H^{4} + 5C.$$

Cette dernière formule peut donc être prise pour représenter la décomposition du picrate de potasse aux fortes pressions.

h. — Poudre de mine.

52. Les expériences portant sur la poudre de mine française ne mettent en évidence que des variations faibles dans la composition des produits gazeux lorsque les densités de chargement varient de 0,3 à 0,6. On peut donc admettre, pour la composition des produits gazeux normaux de la poudre de mine dans l'emploi pratique, la composition trouvée à la densité de 0,6.

INFLUENCE DE LA DÉTONATION SUR LA NATURE DES PRODUITS DE LA DÉCOMPOSITION DES EXPLOSIFS.

53. Les résultats qui précèdent permettent de déterminer, avec une approximation suffisante, la nature des produits de la décomposition des principaux explosifs, dans des conditions de chargement voisines de celles qui sont utilisées dans la pratique.

Mais ces données sont relatives au mode de décomposition provoqué par simple ignition et, dans la pratique, les explosifs tels que le coton-poudre, la dynamite, la nitromannite, sont toujours amenés à détoner par l'emploi de capsules au fulminate de mercure.

Il importait de déterminer l'influence que ce dernier mode de décomposition pouvait avoir sur la nature des produits.

On s'est borné à étudier le coton-poudre : les explosifs à oxydation complète devant donner évidemment lieu, en toute circonstance, à la réaction théorique.

On a opéré dans une éprouvette en acier de 320^{cc} de capacité intérieure, au centre de laquelle on a fait détoner une cartouche de 32^{gr} de fulmicoton comprimé, amorcée par une capsule de $0^{gr},6$ de fulminate de mercure. Dans ces conditions, le poids de l'amorce était négligeable vis-à-vis de celui de la charge. On s'était, d'ailleurs, assuré par des expériences, exécutées à l'air libre, que cette amorce était suffisante pour provoquer la détonation complète de la cartouche. L'inflammation de la capsule a été provoquée par un fil porté à l'incandescence au moyen d'un courant électrique.

Le volume des gaz, 22^{lit} environ, n'a pu être mesuré exactement à cause des fuites légères survenues après l'explosion, pendant la période de refroidissement. Mais les gaz recueillis ont été analysés.

Nous rapprochons le résultat *brut* de l'analyse de celui que l'on obtient à la densité de chargement de 0,2 dans le cas d'une déflagration simple.

Détonation : densité moyenne des produits 0,1			Déflagration : densité 0,2	
	CO^2	25,41	CO^2	27,50
	CO	39,50	CO	37,35
	C^2H^4	0,19	C^2H^4	0,59
	H	18,76	H	18,26
	Az	16,13	Az	16,30

On voit immédiatement que les compositions des 2 échantillons sont très voisines. De plus, les différences s'expliquent par ce que les conditions dans lesquelles ces échantillons ont été produits ne sont pas rigoureusement comparables. Le premier échantillon, en effet, obtenu par détonation à la densité de 0,1, est un peu surdosé en oxyde de carbone par le fulminate de mercure. D'autre part, le deuxième échantillon, obtenu à la densité de 0,2, renferme, par rapport aux produits formés à la densité de 0,1, un excès d'acide carbonique formé aux dépens de l'oxyde de carbone par la réduction de la vapeur d'eau, suivant une réaction dont nous avons vu précédemment toute la généralité.

On voit donc, en définitive, que les produits de l'état final sont sensiblement identiques dans la détonation et la déflagration simple et qu'on peut légitimement adopter, pour la réaction réalisée pratiquement dans l'emploi des explosifs détonants, la limite vers laquelle tendent les réactions observées en vase clos, par déflagration simple, pour les densités de chargement élevées.

CHAPITRE V.

CONCLUSIONS PRATIQUES.

54. Des données précédentes, on peut conclure, avec une approximation suffisante pour la pratique, l'élément dont la détermination était l'objet principal de ce mémoire, savoir : la composition qualitative et quantitative des gaz formés, soit dans les explosions, soit dans les ratés de détonation par les explosifs usuels.

Les tableaux suivants font connaître (exprimé en litres) le volume de chacun des gaz par kilogramme de l'explosif.

Les chiffres du premier tableau sont calculés :

1° Pour les explosifs azotés d'après les formules de décomposition établies au nos 43, 45, 46 et 47;

2° Pour la poudre de mine, d'après les résultats d'expériences consignés dans les tableaux VII et XVI.

Les chiffres du deuxième tableau résultent des données fournies par les tableaux VIII et XVII :

TABLEAU XX.

Volume des gaz (litres) *par kilogramme de la substance.*

(DÉTONATIONS).

DÉSIGNATION de la substance.	CO.	CO^2.	H.	Az.	O.	C^2H^4.	HS.
Coton-poudre pur.....	234	234	166	107	"	"	"
» au nitrate de potasse.....	"	171	"	109	45	"	"
» au nitrate d'ammon...	"	184	"	211	6	"	"
Nitroglycérine.....	"	295	"	147	25	"	"
Poudre de mine.....	64	150	4	65	"	4	17

TABLEAU XXI.

Volume des gaz (litres) *par kilogramme de la substance.*

(RATÉS DE DETONATION).

DÉSIGNATION de la substance.	AzO^2.	CO.	CO^2.	H.	Az.	C^2H^4.
Coton-poudre pur.....	139	237	104	45	33	7
» au nitrate de potasse	71	58	57	3	7	"
» » d'ammon.	122	65	103	12	112	"
Nitroglycérine.....	218	162	58	7	6	1

55. Les conclusions pratiques de l'ensemble de nos recherches sont les suivantes :

1° L'explosion du coton-poudre dégage une quantité considérable d'oxyde de carbone : 234^{lit} par kilogramme.

2° Le mélange à poids égaux de coton-poudre et de nitrate de potasse ne dégage pas, en général, d'oxyde de carbone; mais ce

gaz peut se former, en quantité réduite, si les conditions de l'explosion ne réalisent que de faibles pressions.

3° Le mélange de 40 parties de coton-poudre et 60 parties de nitrate d'ammoniaque ne dégage pas d'oxyde de carbone, même sous les faibles pressions.

4° La poudre de mine dégage des quantités notables d'oxyde de carbone; il y a donc avantage à employer dans les galeries de mine des poudres plus riches en salpêtre.

5° Dans les ratés de détonation, tous les explosifs azotés dégagent abondamment du bioxyde d'azote et de l'oxyde de carbone : il importe donc, dans les travaux de galerie, d'éviter les ratés en apportant le plus grand soin au choix de l'amorce et aux conditions de l'amorçage.

Paris, 1er mars 1885.

COMMISSION DES SUBSTANCES EXPLOSIVES.

RAPPORT N° 3

SUR

L'EMPLOI DU COTON-POUDRE SEC

POUR

LES OPÉRATIONS DE GUERRE[1].

EXAMEN D'OBSERVATIONS RELATIVES AU DANGER QUE PEUT PRÉSENTER L'EMPLOI DU COTON-POUDRE SEC POUR LES OPÉRATIONS MILITAIRES [2].

Par lettre du 17 janvier 1880, M. le ministre de la guerre, accusant réception de l'envoi du rapport de la commission des substances explosives sur l'emploi du coton-poudre aux opérations de guerre, signale une objection grave qui peut être faite à propos de l'adoption de cartouches remplies de coton-poudre *sec*.

Il rappelle que le coton-poudre conservé à l'état sec est considéré comme plus sujet à altération que le coton-poudre humide et il fait observer que, sous ce rapport, on peut craindre que l'emploi des cartouches de coton-poudre sec, indiquées dans le rapport du 7 août 1879, ne présente quelque danger.

Il demande l'avis de la commission sur ce point et sur la possibilité d'atténuer ce danger, s'il existe, par l'emploi de quelque

(1) Voir t. I, p. 109.

(2) Rapporteur, M. Sebert, colonel d'artillerie de la marine.

procédé spécial, tel que le paraffinage; enfin, il rappelle l'intérêt qui s'attacherait à la solution de la question de l'amorçage direct du coton-poudre *humide,* question qui a été posée par M. le général directeur du Dépôt des fortifications dans une lettre du 24 octobre 1878.

La sous-commission qui est déjà saisie de l'étude de l'emploi du coton-poudre aux opérations de guerre a été chargée de préparer la réponse à ces différentes questions (1).

Elle soumet à la commission la rédaction suivante :

I. — Emploi du coton-poudre sec.

En ce qui concerne la proposition d'employer des cartouches de coton-poudre sec pour les opérations de démolitions à effectuer en campagne, il convient d'abord de rappeler comment cette proposition a été amenée.

La commission a été saisie, sur la demande du ministre de la marine, de l'étude des moyens de réaliser les différents dispositifs de démolition que l'on peut préparer avec les cartouches réglementaires de dynamite, en faisant usage de coton-poudre comprimé des formes réglementaires qui existent dans les approvisionnements du département de la marine.

Le service de la marine possédant dans ses approvisionnements et employant pour l'amorçage de certaines torpilles des gâteaux parallélépipédiques de coton-poudre sec qui mesurent $0^{m},12$ de côté à la base sur $0^{m},2$ de hauteur et qui peuvent facilement donner chacun, par découpage, trois prismes du poids de 100^{gr} environ, équivalant sensiblement, comme dimensions et comme formes, aux charges de dynamite des cartouches réglementaires, il était tout naturel de chercher à constituer, de cette façon, des cartouches destinées à remplacer ces dernières.

On a été conduit à munir ces cartouches d'une enveloppe métallique imperméable, non pas pour s'opposer à l'altération éventuelle du coton-poudre au contact de l'air, mais pour donner à ces

(1) Cette sous-commission est actuellement composée de :

MM. Fritsch, Sarrau et Sebert, membres titulaires;
Archinard et Vieille, membres adjoints.

cartouches la solidité qu'exige le service militaire et aussi pour s'opposer à l'absorption d'humidité par le coton-poudre, absorption qui pourrait entraîner des ratés de détonation.

La commission n'avait pas à s'occuper de la question de conservation, qui lui paraissait résolue implicitement d'après la nature même de la question posée par M. le ministre de la marine et d'après les renseignements qui lui avaient été fournis par ceux de ses membres qui représentent ce département, renseignements desquels il résultait que l'on conserve normalement, à bord des navires de guerre, des gâteaux de coton-poudre sec destinés à l'amorçage des torpilles et qu'on a même admis récemment, à bord de ces navires, des charges de coton-poudre destinées à des torpilles Whitehead et pesant chacune plus de 12^{kg}.

La commission n'avait pas d'ailleurs eu l'occasion de faire les expériences nécessaires pour constater les conditions de conservation du coton-poudre comprimé, dont l'emploi est réglementaire dans le service de la marine, expériences qui exigent des observations de longue durée, faites dans des conditions d'emmagasinement variées et qui, pour ce motif, ne peuvent être effectuées convenablement que par les services intéressés.

Toutefois, elle savait que le coton-poudre actuellement employé, c'est-à-dire le coton-poudre comprimé par le procédé Abel, tel qu'il est fabriqué, en particulier, à l'usine du Moulin-Blanc, présente, au point de vue de la conservation, des garanties que ne pouvaient posséder les produits des fabrications organisées autrefois en France et en Autriche, produits qui ont donné lieu à des accidents connus.

La réduction en pâte et le lavage du produit sous cet état, qui constituent l'un des perfectionnements essentiels du procédé Abel, semblent assurer en effet l'élimination des particules non transformées qui pourraient être le centre d'une décomposition ultérieure.

Il est vrai qu'un accident très grave est survenu en 1870 dans l'usine de Stowmarket, où est appliqué en Angleterre le procédé Abel, mais l'enquête officielle ouverte sur les causes de cet accident a conduit à l'attribuer à la malveillance.

D'autre part, les épreuves de recettes qui sont faites avec beaucoup de soin sur chacun des lots livrés au département de la ma-

rine par l'usine de production constituent aussi des éléments de garantie qui n'existaient pas à l'origine. Ces épreuves comprennent, en effet, des essais de solubilité dans un mélange d'alcool et d'éther, qui sont destinés à faire connaître la proportion de substance transformée en pyroxyle trinitré et des épreuves de chaleur qui sont destinées à constater le degré de stabilité du produit obtenu.

Toutefois la commission, après avoir constaté que les cartouches métalliques de coton-poudre sec, dont elle a proposé l'emploi, produisent des effets équivalents à ceux des cartouches réglementaires de dynamite, s'est gardée de conclure qu'il conviendrait d'introduire ces cartouches dans les approvisionnements de guerre des services militaires.

Ce qui peut convenir à l'emploi restreint qu'aura à en faire le département de la marine peut présenter, en effet, des inconvénients quand il s'agit des conditions différentes du service à terre. Des expériences suivies, tant sur les conditions de conservation dans les magasins que sur les conditions de résistance aux différents modes de transport, permettraient seules de décider si le coton-poudre, dans son état actuel, possède les garanties nécessaires pour être introduit, à l'état sec, dans les approvisionnements de guerre.

Mais il y a lieu de remarquer qu'il paraît résulter de renseignements communiqués à la commission, que ce produit figure déjà dans les approvisionnements de la cavalerie anglaise et, tout au moins sous forme de cubes d'amorces, dans les approvisionnements de l'armée allemande.

Dans ces conditions, pour répondre à la question qui lui est posée, la commission ne peut que joindre à cet exposé une note établie par M. le lieutenant-colonel Sebert, de l'artillerie de marine, note qui résume les observations faites au département de la marine, en ce qui concerne la conservation et le transport par voie d'eau, depuis la mise en service du coton-poudre pour le chargement des torpilles.

Le département de la marine se propose de faire exécuter des expériences de transport par voiture de cartouches de coton-poudre sec constituées comme l'a indiqué la commission dans son rapport du 7 août 1879; mais les résultats de ces expériences ne pourront être connus que dans quelques mois.

II. — Emploi du coton-poudre paraffiné.

En ce qui concerne l'emploi du paraffinage pour faciliter la conservation du coton-poudre, la commission fera remarquer qu'il y a lieu d'établir une distinction suivant qu'il s'agit du paraffinage superficiel usité depuis longtemps en Angleterre, ou du paraffinage complet qui a été récemment appliqué en Allemagne pour la constitution de cartouches destinées aux usages militaires.

Le paraffinage superficiel, en recouvrant d'une couche mince de paraffine la surface extérieure des gâteaux de coton-poudre, constitue une protection assez bonne contre l'action de l'humidité, surtout si le gâteau de coton-poudre est ensuite recouvert d'une enveloppe de carton; toutefois cette protection ne peut être aussi efficace que celle que procure une enveloppe métallique; la paraffine est, en effet, sujette à fondre à une température relativement peu élevée; elle est aussi exposée à se fendiller et à s'effriter avec le temps.

Cette protection extérieure ne paraîtrait d'ailleurs devoir être qu'un faible obstacle au développement d'une décomposition spontanée, si une telle décomposition était encore à craindre avec le coton-poudre obtenu par les nouveaux procédés de fabrication.

Il ne semble donc pas que le paraffinage superficiel doive être préféré, pour les usages militaires, à l'emploi d'une enveloppe métallique.

Quant au paraffinage pénétrant dans la masse du coton-poudre, paraffinage qui transforme ce produit en une substance douée de propriétés nouvelles, il mérite une étude particulière.

La commission a entrepris cette étude, mais elle n'est pas encore en mesure d'en faire connaître les résultats.

Elle peut dire cependant, tant d'après ses propres recherches que d'après celles effectuées par l'usine du Moulin-Blanc et par l'École de pyrotechnie maritime et dont elle a eu communication, qu'une immersion suffisamment prolongée du coton-poudre sec dans un bain chaud de paraffine donne un produit susceptible d'être employé, dans un grand nombre de cas, en remplacement du coton-poudre humide.

Ce produit présente toutefois sur ce dernier le désavantage de pouvoir prendre feu au contact immédiat d'un corps enflammé,

tandis que le coton-poudre contenant une proportion suffisante d'eau exige l'action prolongée d'une chaleur intense pour s'enflammer.

On n'a pu d'ailleurs soumettre encore le coton-poudre paraffiné à des essais de conservation prolongés; mais, par la consistance qu'il présente, par la facilité avec laquelle il se laisse travailler et surtout par sa résistance à l'action de l'humidité, il posséderait, pour les usages militaires, une supériorité marquée sur le coton-poudre humide dont il paraît avoir au même degré les qualités explosives.

Mais si, à ce titre, il peut être employé pour la constitution de charges de poids notable, comme celles qui sont nécessaires pour la démolition des ponts et ouvrages d'art (charges condensées dépassant 500^{gr}), il présente, comme le coton-poudre humide, pour la constitution de simples cartouches du poids de 100^{gr} à 200^{gr}, l'inconvénient d'exiger l'emploi d'une amorce de coton-poudre sec.

L'introduction de cette amorce dans la charge compliquerait notablement le matériel et pourrait faire disparaître le principal avantage que l'on peut trouver à l'adoption du produit paraffiné.

Ce coton-poudre ne pourrait donc être avantageusement utilisé, pour les usages militaires, comme d'ailleurs le coton-poudre humide, que si l'on possédait le moyen d'en provoquer la détonation directe, c'est-à-dire sans l'intermédiaire d'une charge d'amorce sèche, ce qui amène à l'examen de la troisième question signalée dans la lettre de M. le ministre de la guerre.

III. — Amorçage direct du coton-poudre humide.

La commission n'a pas perdu de vue l'intérêt qui s'attache à la recherche d'un mode d'amorçage direct du coton-poudre humide; elle a déjà fait des recherches à ce sujet en les faisant porter parallèlement sur l'amorçage du coton-poudre paraffiné, mais jusqu'à ce jour elle n'a pas obtenu de résultats satisfaisants.

Paris, 18 mars 1880.

COMMISSION DES SUBSTANCES EXPLOSIVES.

RAPPORT N° 28.

RECHERCHE

D'UN

NOUVEL EXPLOSIF POUR LES USAGES MILITAIRES (1).

Par dépêche en date du 26 décembre 1882, M. le ministre de la guerre fait connaître à la commission des substances explosives que l'emploi et la conservation de la dynamite, n° 1, actuellement adoptée, au département de la guerre, pour les opérations militaires, ont donné lieu, depuis quelque temps, à diverses réclamations de la part des services consommateurs.

Il ajoute que ces réclamations portent, notamment, sur la facilité d'exsudation des produits fabriqués depuis une période de deux années environ, lesquels ne seraient pas rigoureusement identiques aux dynamites fabriquées à l'origine par la poudrerie de Vonges.

Il signale que ce défaut d'identité aurait pour conséquence de nécessiter, à de certains intervalles, une modification des dimensions des pétards et des cartouches, pour tenir compte de la variation de densité de la matière explosive, ce qui entraînerait des variations corrélatives dans les dimensions des boîtes, des pétards et des cartouches, comme dans celles des caissons et même des barres à mines.

Dans ces conditions, le ministre de la guerre demande à la com-

(1) Rapporteurs, MM. Sebert et Haffen.

mission de lui faire connaître, le plus tôt possible, son avis motivé sur le meilleur explosif qui pourrait être, dès à présent ou à bref délai, substitué à la dynamite, n° 1, pour les opérations militaires (dynamite à base inerte ou active, coton-poudre, nitromannite, etc.).

Une sous-commission, composée de MM. Müntz, Sarrau, Sebert, Vieille, Haffen, Liouville et Orcel, a été désignée dans la séance du 11 janvier 1883 pour préparer la réponse à faire à cette question.

La sous-commission, après discussion, a pensé que, tout en se réservant d'entreprendre des recherches pour compléter les renseignements qui pouvaient être fournis au ministre de la guerre, il y avait lieu d'établir, sans retard, un premier rapport exposant, d'une façon sommaire, l'état des études de la commission sur les différents points qui se rattachent à la question posée par le ministre et en déduisant les conclusions qui peuvent être énoncées dès maintenant.

Une seconde dépêche, du ministre de la guerre, portant la date du 27 janvier 1883, est venue, d'ailleurs, donner avis à la commission que le ministre a prescrit l'envoi, aux Écoles régimentaires du génie, de 2500^{kg} de coton-poudre comprimé, en vue de permettre des essais en grand sur l'emploi de ce produit, dans les conditions qui ont été indiquées par la commission des substances explosives.

Cette dépêche ajoute que le service du génie désirerait avoir l'avis de la commission sur les autres explosifs dont l'étude pourrait être entreprise et notamment sur la dynamite-gomme et la dynamite-paille.

Cette nouvelle demande n'a fait que confirmer la sous-commission dans la pensée qu'il y avait lieu d'adresser, sans retard, au ministre, un rapport exposant sommairement la situation des études de la commission des substances explosives sur les différents points traités dans les dépêches des 26 décembre 1882 et 27 janvier 1883, et faisant connaître les mesures qui pourraient être prises immédiatement dans l'ordre d'idées indiqué par ces dépêches, ainsi que les recherches qui resteraient encore à exécuter pour répondre complètement aux questions posées.

C'est ce rapport que la sous-commission a l'honneur de soumettre aujourd'hui à la commission.

La sous-commission rappellera tout d'abord que la commission des substances explosives a eu déjà à s'occuper de la question de la substitution d'un autre explosif à la dynamite pour les usages militaires.

Elle a eu, en effet, dès l'année 1878 et à la demande du ministre de la marine, à rechercher s'il était possible de constituer, en faisant usage du coton-poudre comprimé, fabriqué par le procédé Abel, des cartouches de rupture susceptibles d'être substituées, pour les opérations militaires, aux cartouches de dynamite en usage au département de la guerre.

Elle a procédé, sur ce sujet, à de nombreuses expériences qui sont résumées dans le rapport qu'elle a établi à la date du 7 août 1879 (1).

Ces expériences l'ont conduite à proposer un type de cartouche ou pétard de coton-poudre sec, susceptible de remplacer le pétard de dynamite de 100^{gr} adopté pour la cavalerie.

Cette cartouche est constituée par un étui métallique en laiton mince, à fermeture hermétique, qui contient un prisme de coton-poudre comprimé, mesurant 12^{cm} de longueur, 4^{cm} de largeur et 2^{cm} d'épaisseur, et pesant à très peu près 100^{gr}.

Le couvercle de la cartouche est muni d'une douille emboutie destinée à recevoir le détonateur réglementaire, à charge de $1^{gr},5$ de fulminate de mercure.

Cette cartouche s'emploie identiquement dans les mêmes conditions que la cartouche de dynamite, à laquelle elle est équivalente; elle peut lui être substituée poids pour poids.

Une note, rédigée par M. le commandant Fritsch, résume les différentes dispositions à adopter pour l'emploi de cette cartouche aux opérations de guerre. Cette note reproduit, à peu près textuellement, les dispositions prescrites par l'instruction sur l'emploi de la dynamite.

Après une série d'essais, dans les différents services de la marine, l'emploi de ces cartouches a été rendu réglementaire pour les corps de troupe et les compagnies de débarquement. (Instruction du 13 décembre 1882 du ministre de la marine.)

---

(1) Voir t. I, p. 109.

Il en a même été envoyé un approvisionnement au Sénégal, dès 1881, pour les besoins de l'expédition du Haut-Fleuve.

Les documents, recueillis par la commission des substances explosives, fournissent sur ces différents essais un certain nombre de renseignements qui montrent que ce matériel est d'un emploi commode et pratique.

Le coton-poudre qui entre dans la constitution de la cartouche dont il s'agit doit être à l'état sec, ou du moins il ne doit pas renfermer plus de 5 pour 100 d'eau, pour que l'amorce réglementaire, à la charge de $1^{gr},5$ de fulminate, en provoque sûrement l'explosion.

Ce n'est donc que pour les cartouches destinées à être employées pour la constitution de charges dépassant le poids de 100^{gr} que l'on peut faire usage du coton-poudre humide, et à la condition d'employer alors, soit une cartouche semblable, soit une cartouche spéciale plus petite de coton-poudre sec, à titre de cartouche-amorce, pour provoquer la détonation des cartouches de coton-poudre humide.

Celles-ci peuvent, d'ailleurs, comme les cartouches de dynamite, être disposées en charges concentrées ou en charges allongées. Toutefois, quand on fait usage ainsi de coton-poudre humide, les cartouches constituant les charges allongées doivent être placées à peu près au contact, la détonation ne se transmettant plus lorsque cette distance atteint 1^{cm} à 2^{cm}; mais cette sujétion, qui peut conduire seulement, dans certains cas, à une consommation de coton-poudre un peu plus grande qu'il ne serait strictement nécessaire, n'a que peu d'importance dans la pratique; car déjà on n'hésite pas à l'accepter dans l'emploi des cartouches de dynamite, pour lesquelles elle ne s'impose cependant pas au même degré.

Si l'on devait introduire simultanément en service des cartouches de coton-poudre sec et des cartouches de coton-poudre humide, il serait facile de distinguer ces deux sortes de cartouches en donnant à leurs étuis des couleurs différentes.

Le coton-poudre humide aurait le grand avantage de ne pas détoner sous le choc des balles; il pourrait aussi être conservé, dans les magasins des places, en le logeant dans des récipients pleins d'eau, comme le fait le département de la marine pour les approvisionnements considérables destinés au chargement des lignes de

torpilles fixes, qui sont conservés dans des magasins spéciaux en renfermant parfois plus de 50 000^{kg}.

Ce mode de conservation donnerait une sécurité à peu près absolue pour les magasins, même en cas d'incendie.

Le coton-pondre sec détone, au contraire, ou tout au moins s'enflamme sous le choc des balles; en cela, il présente, bien qu'à un degré moindre, le même défaut que la dynamite. Mais il a, sur ce dernier produit, l'avantage de constituer un composé chimique homogène ou non un mélange, en proportions variables, de corps différents susceptibles de se séparer dans certaines circonstances.

Il n'y a à craindre, pour ce corps, ni congélation, ni exsudation, et il faut seulement le préserver du contact de l'eau. Pour les usages militaires, il semble préférable d'employer, dans ce but, une enveloppe métallique qui peut être faite très mince en employant le laiton.

On a pu concevoir autrefois des craintes sur la conservation du coton-poudre à l'état sec et ces craintes étaient justifiées par le souvenir de graves accidents, arrivés en divers pays et dus au coton-poudre.

Mais, en dehors de l'explosion survenue en 1870, à l'usine de Stowmarket, en Angleterre, explosion dont l'enquête officielle a pu trouver la cause dans une manœuvre criminelle, ces accidents se sont produits avec le coton-poudre fabriqué par les anciens procédés et qui ne présentait pas les garanties de pureté que donne le procédé Abel actuellement en usage.

L'expérience acquise au département de la marine, où le coton-poudre comprimé, fabriqué par le procédé Abel, est en service depuis 1875, est de nature à rassurer sur ce point.

La plus grande partie de ce coton-poudre est, il est vrai, conservée à l'état humide; mais cependant il existe toujours, dans chaque port, ainsi qu'à bord des bâtiments armés, d'assez grandes quantités de coton-poudre sec qui sont destinées à la constitution des charges d'amorce pour les torpilles de tous modèles.

Chaque navire armé reçoit ainsi, à l'état sec, des charges qui varient entre 4^{kg} et 20^{kg}.

Chaque port conserve, en outre, sous le même état, une centaine au moins de kilogrammes de coton-poudre, tant pour les

délivrances aux navires que pour l'amorçage des torpilles des lignes de la défense fixes.

Les excellents résultats obtenus, en ce qui concerne la conservation du coton-poudre, ont conduit, peu à peu, dans la marine, à faire disparaître les restrictions que l'on avait apportées, dans l'origine, à l'emploi du coton-poudre à l'état de siccité, et l'on n'hésite pas à recourir à ce produit toutes les fois que son usage peut présenter quelque avantage sérieux sur l'emploi du coton-poudre humide.

Les résultats des observations faites au département de la marine sur la conservation du coton-poudre ont été déjà résumées dans une note que la commission a eu l'occasion de joindre à la réponse qu'elle a adressée au ministre de la guerre, à la date du 18 mars 1880, lorsqu'elle a été consultée sur les dangers que peuvent présenter la conservation et le transport du coton-poudre sec (1).

Depuis la rédaction de cette note, le ministre de la marine a généralisé encore l'emploi du coton-poudre sec, en prescrivant la conservation à l'état sec des charges destinées à l'amorçage et en rendant réglementaire l'emploi des cartouches de coton-poudre sec dont il a fait mettre en service immédiat 20 000.

En résumé, on n'a eu à constater au ministère de la marine, dans l'emploi du coton-poudre, que des accidents de peu d'importance provenant d'imprudences dans le maniement.

Un seul accident récent, survenu à Toulon, dans lequel une étuve renfermant environ 200^{kg} de coton-poudre a fait explosion, avait paru, tout d'abord, pouvoir être attribué à une décomposition du coton-poudre réglementaire conservé sous forme de râpures, mais il a été démontré, par l'enquête, que l'explosion de cette étuve avait été provoquée par l'inflammation d'une petite quantité de coton-poudre en floches, fabriquée au laboratoire de l'École de pyrotechnie maritime, et déposée directement au-dessus de tubes en fer parcourus par un courant d'eau chaude. Cet accident ne doit donc pas diminuer la confiance que l'on peut avoir dans la stabilité du coton-poudre fabriqué par le procédé Abel.

Les envois de coton-poudre qui ont été effectués par le département de la marine dans des contrées torrides, et notamment en

(1) Voir ci-après, p. 184.

Cochinchine et au Sénégal, ont montré, d'ailleurs, que le coton-poudre résiste aux variations de température mieux que ne le ferait certainement la dynamite.

L'emploi du coton-poudre semble aussi se généraliser dans les armées étrangères.

Dans ces conditions et sans vouloir préjuger la question de savoir si les motifs mentionnés dans la lettre du ministre de la guerre, en date du 26 décembre 1882, doivent avoir, dès maintenant, pour conséquence de faire abandonner la dynamite pour les usages militaires, la sous-commission croit pouvoir dire que l'adoption du coton-poudre, employé au besoin à l'état sec, peut permettre de constituer immédiatement des cartouches de rupture susceptibles d'être substituées, poids pour poids, et dans les mêmes conditions d'emploi, aux cartouches ou aux pétards de dynamite actuellement réglementaires.

Il résulte, en effet, des faits rappelés plus haut, que le coton-poudre sec présenterait une sécurité au moins égale à celle de la dynamite. Ce produit aurait même l'avantage, sur ce dernier explosif, de mieux résister aux variations de température, et l'on n'aurait à se préoccuper avec lui ni de dangers d'exsudation, ni de dangers de congélation.

Le coton-poudre sec devrait être placé dans des enveloppes étanches, mais on peut obtenir facilement des étuis en laiton, d'un emploi commode et de formes régulières, en suivant le mode de fabrication par emboutissage et mandrinage adopté pour le type de cartouche prismatique qui a été établi par la commission des substances explosives.

Les dimensions et les formes des cartouches à adopter, soit prismatiques, soit cylindriques, pourraient, d'ailleurs, varier suivant les besoins des services, mais il y a lieu de remarquer que, en adoptant, pour constituer la charge des cartouches prismatiques, un prisme des dimensions indiquées ci-dessus, savoir : 12^{cm} de longueur avec une section de 4^{cm} sur 2^{cm}, on peut obtenir ces charges en les découpant dans les grands carreaux minces de 12^{cm} de côté et 2^{cm} d'épaisseur, pour la fabrication desquels l'usine du Moulin-Blanc est outillée. On pourrait donc ainsi obtenir une production rapide.

De même, pour les cartouches cylindriques, il y aurait avantage

à adopter les cylindres comprimés au diamètre de 29^{mm} que fabrique déjà l'usine du Moulin-Blanc pour l'emploi dans les mines et pour la fabrication desquels cette usine possède l'outillage nécessaire.

En opérant ainsi, on pourrait donc, comme le demande le ministre de la guerre, constituer dès à présent un approvisionnement de cartouches ou de pétards de coton-poudre, susceptible d'être substitué au matériel correspondant constitué au moyen de dynamite.

En indiquant le coton-poudre sec pour la constitution d'une cartouche de rupture susceptible de remplacer immédiatement la cartouche de dynamite réglementaire au département de la guerre, la sous-commission ne se dissimule pas que cet explosif ne satisfait pas encore à toutes les conditions qu'il serait désirable de trouver réunies dans un explosif de guerre.

Au point de vue des accidents qui peuvent être provoqués par le choc des projectiles ennemis, il serait désirable que l'explosif adopté ne fût pas susceptible de détoner sous le choc des balles et, au point de vue de l'emploi éventuel dans les galeries de mines, il serait avantageux que l'explosion ne produisît pas autant de gaz méphitiques qu'en dégage le coton-poudre ordinaire.

Les recherches de la commission des substances explosives ont porté déjà sur ces deux points.

L'incorporation d'une certaine proportion de paraffine dans le coton-poudre permettra peut-être d'obtenir un produit explosif qui, tout en devenant insensible au choc des balles, pourra conserver la faculté de détoner sous l'action de l'amorce fulminante réglementaire.

L'addition au coton-poudre, destiné à l'usage des mines, d'une certaine proportion d'azotate d'ammoniaque permettra, d'autre part, de supprimer tout dégagement d'oxyde de carbone.

Les essais de la commission sur l'emploi de ces mélanges sont assez avancés pour qu'il y ait lieu d'espérer une solution prochaine et, pour satisfaire au désir du ministre, elle imprimera à ces parties de ses recherches toute l'activité possible; mais la sous-commission fera remarquer que, même en admettant qu'on doive un jour adopter ces produits nouveaux, rien ne s'opposerait à ce qu'on mît en service, dès maintenant, des cartouches prismatiques ou cylindriques chargées de coton-poudre ordinaire; car il serait toujours

possible de substituer de nouvelles charges aux anciennes sans modifier les enveloppes et, par conséquent, sans rien changer aux dimensions des caissons et des barres à mines ou aux dispositions du matériel correspondant.

Il suffirait tout au plus de modifier les tableaux numériques ou les coefficients des formules qui servent à déterminer le nombre de pétards ou de cartouches à employer pour chaque espèce de rupture.

En dehors du coton-poudre, la sous-commission ne voit d'ailleurs aucun explosif dont l'emploi puisse être immédiatement conseillé pour remplacer la dynamite pour les usages militaires.

La commission a eu déjà à examiner ou à expérimenter plusieurs autres explosifs qui étaient présentés comme susceptibles d'être appliqués aux opérations de guerre; elle citera, par exemple, la dynamite-paille, la dynamite-son, la dynamite au camphre, sur lesquelles elle a recueilli un certain nombre de renseignements; mais ces études n'ont pas été poussées assez loin pour que la sous-commission puisse se croire en mesure d'émettre un avis formel sur la possibilité de la substitution de ces produits à la dynamite.

Elle peut cependant dire qu'aucun de ces explosifs ne semble présenter des qualités qui soient de nature à le faire substituer à la dynamite, n° 1, de Vonges, fabriquée dans de bonnes conditions.

La dynamite-gomme, d'après les renseignements publiés sur cette substance, présenterait peut-être des qualités spéciales qui motiveraient une conclusion différente, mais la commission n'a pas eu jusqu'ici l'occasion d'expérimenter cette substance; elle croit savoir d'ailleurs que, d'une part, la fabrication n'en est pas encore entrée en marche régulière et que, d'autre part, des difficultés d'amorçage s'opposeraient encore à son emploi pour les usages militaires.

Un autre explosif, auquel la commission a consacré une étude spéciale, la nitromannite, paraît devoir présenter, au moins sous certains rapports, tels que la puissance et la facilité de préparation à l'état de pureté, des avantages marqués sur la dynamite et même sur le coton-poudre; mais, outre que ce produit est beaucoup plus sensible au choc, sa conservation ne peut être encore garantie par une expérience suffisamment prolongée, bien que

l'on puisse déjà signaler que des échantillons préparés par la commission depuis plus de deux ans sont restés en parfait état. En tout cas, la fabrication de ce produit ne pourraît être entreprise immédiatement, d'une façon industrielle.

En résumé, pour répondre à la demande formulée par la dépêche du 26 décembre 1882, la sous-commission a l'honneur de proposer à la commission des substances explosives de transmettre au ministre de la guerre le présent rapport en s'associant à ses conclusions, desquelles il résulte que si l'on veut immédiatement substituer un nouvel explosif de guerre à la dynamite, n° 1, de Vonges, on peut adopter le coton-poudre comprimé, fabriqué par l'usine du Moulin-Blanc, d'après le procédé Abel, à la condition d'employer des enveloppes métalliques à fermeture hermétique pour celles des cartouches qui devront recevoir du coton-poudre à l'état sec.

Paris, 1er février 1883.

ANNEXE.

OBSERVATIONS FAITES AU DÉPARTEMENT DE LA MARINE SUR LA CONSERVATION DU COTON-POUDRE COMPRIMÉ FABRIQUÉ PAR LE PROCÉDÉ ABEL (1).

Le département de la marine a commandé en 1875 à MM. PRENTICE, directeurs de l'usine de Stowmarket (Angleterre), 100 000^{kg} de poudre-coton comprimé fabriqué par le procédé ABEL.

Ce coton-poudre, livré dans le courant des années 1876 et 1877, a été emmagasiné, pour la majeure partie, à l'état humide, dans des magasins construits spécialement pour cet usage dans les 5 ports militaires et disposés conformément aux prescriptions d'un règlement adopté par le ministre à la date du 18 décembre 1876. Certains de ces magasins peuvent contenir jusqu'à 50 000^{kg} de coton-poudre supposé sec.

Tous les lots fabriqués ont été soumis à des épreuves de recettes minutieuses, identiques à celles imposées par le gouvernement anglais et décrites, en détail, dans une instruction annexée au marché (2).

En 1877, l'usine du Moulin-Blanc, dirigée par le service des poudres et salpêtres, s'étant trouvée en état de fabriquer pour la marine, les achats en Angleterre ont cessé. Cette usine a livré jusqu'à ce jour, au département de la marine, environ 35 000^{kg} de coton-poudre sous les formes diverses adoptées pour le chargement des torpilles.

Les livraisons ont été reçues et éprouvées avec les mêmes soins minutieux que pour le coton-poudre anglais.

Ces approvisionnements ont été aussi placés dans les mêmes magasins ou délivrés aux bâtiments armés et ont été conservés, soit à l'état humide, soit à l'état sec pour les charges d'amorces, en suivant les précautions prescrites par le règlement précité du 18 décembre 1876. Ce règlement a été complété et remplacé à la date du 19 août 1879 par un nouveau règlement dont la rédaction a été rendue nécessaire par l'adoption de caisses métalliques dont on avait cru devoir d'abord éviter l'emploi pour le coton-poudre humide. Ce règlement admet en principe que le coton-poudre ne doit être conservé, normalement, dans les magasins, qu'à l'état humide. A bord des bâtiments, on ne conserve, à l'état sec, que les quantités relativement minimes constituant les charges et amorces, les charges proprement dites des torpilles étant employées à l'état humide. Cependant, à la

(1) Note rédigée par M. SEBERT, lieutenant-colonel d'artillerie de marine.

(2) Voir le *Manuel de pyrotechnie à l'usage de l'artillerie de la marine*, t. I, chap. X et XI.

suite d'un avis récent du conseil des travaux (instruction du 20 décembre 1879), on a admis à bord, par nécessité de service, des charges de coton-poudre sec pesant environ 13^{kg}, destinées à des torpilles automobiles (Whitehead) d'un certain type.

Tout le coton-poudre emmagasiné, tant à terre qu'à bord, a été l'objet de visites périodiques, passées, pour le coton-poudre humide, au moment du renouvellement de l'eau d'humectation, renouvellement qui s'effectue tous les trois mois, et pour le coton-poudre sec, d'abord tous les six mois, puis, d'après les nouvelles prescriptions, à époques plus éloignées.

Des rapports spéciaux ont été adressés régulièrement au ministre sur ces opérations.

Jusqu'à ce jour, aucune altération de coton-poudre, soit sec, soit humide, n'a été signalée.

En 1877, des caisses en bois contenant, les unes du coton-poudre sec, les autres du coton-poudre humide, ont été embarquées, à titre d'expériences, sur un bâtiment envoyé en mission dans les mers de Chine et ont été déposées en partie, par lui, dans les magasins de la direction d'artillerie de Saïgon (Cochinchine) pour suivre l'effet du climat chaud de cette colonie sur ce produit. La conservation de ce coton-poudre, tant à bord qu'à terre, n'a rien laissé à désirer.

L'école de pyrotechnie de Toulon et l'école des torpilles de Boyardville ont été, en outre, chargées de procéder, tous les trois mois, à des explosions de torpilles, chargées en 1876 avec du coton-poudre de fabrication anglaise et conservées dans l'eau de mer depuis cette époque, dans le but de reconnaître si le coton-poudre placé dans les torpilles perdait avec le temps sa force explosive.

Des essais semblables ont été entrepris en 1878 sur du coton-poudre provenant du Moulin-Blanc.

Ces expériences n'ont montré aucune trace d'altération du coton-poudre, elles ont mis seulement en évidence ce fait qu'une trop forte absorption d'eau rend la détonation de coton-poudre humide plus difficile à provoquer. Des essais de détonation faits aussi sur le coton-poudre envoyé en Cochinchine ont donné des résultats identiques, en ce qui concerne la conservation.

En présence de ces résultats, le département de la marine admet que la conservation du coton-poudre peut être considérée comme assurée dans les conditions fixées par les règlements en vigueur.

Paris, 18 mars 1880.

NOTE

SUR

L'EMPLOI DES MOULES EN CAOUTCHOUC

POUR LE GRENAGE DES POUDRES;

PAR

MM. HAGRON et BRULEY,

Ingénieurs des poudres et salpêtres.

Les divers procédés de grenage employés pour la formation des poudres à gros grains peuvent être divisés en deux catégories bien distinctes.

La première catégorie comprend tous les modes de grenage qui ont pour principe le découpage, par un moyen quelconque, d'une galette lisse d'épaisseur constante, obtenue préalablement par la compression, entre deux plaques rigides, d'une couche régulière de poussier de poudre. Les galettes sont formées à la presse hydraulique, et, pour le découpage, on emploie, soit les maillets armés de pointes en cuivre, soit les machines à 2 ou à 4 cylindres munis d'arêtes saillantes, soit des couteaux de diverses formes mus mécaniquement ou à la main.

On a également cherché à faciliter et à régulariser ce découpage en produisant à l'avance, dans les galettes, des lignes de ruptures au moyen de baguettes saillantes, disposées en rangées parallèles sur les plaques ou les toiles entre lesquelles la compression s'effectue.

Ces procédés n'exigent que des appareils assez simples, mais aussi ne permettent d'obtenir que des grains se rapprochant plus

ou moins de la forme parallélépipédique et de densités variables. Ils donnent lieu à un déchet, différent suivant l'appareil employé au découpage, mais toujours assez élevé, et ne sont pas exempts de danger, puisqu'il faut, dans tous les cas, obtenir la rupture des galettes, soit par choc, soit par tout autre moyen analogue.

Dans la seconde catégorie, nous rangerons tous les procédés qui ont pour principe la production de chaque grain isolément, par compression de la matière dans une matrice ayant exactement la forme du grain à obtenir; les poudres cakes perforées, prismatiques, pellet, etc., sont fabriquées d'après ce principe.

On obtient ainsi des grains parfaitement réguliers de forme, que l'on ne pourrait pas, en général, obtenir par les procédés de la première catégorie; mais on est obligé d'avoir recours à des machines assez compliquées et assez coûteuses.

Le moulage des grains, au moyen de damiers en caoutchouc souple, adopté depuis plusieurs années à la poudrerie de Saint-Chamas pour les poudres de dimensions plus fortes que C_1, réunit les avantages des deux systèmes précédents : il n'exige qu'un outillage simple, peu coûteux; il produit des grains réguliers de forme avec un rendement de 98 à 99 pour 100, ne présente pas de dangers et s'applique à toutes les poudres, même aux poudres à grains percés, offrant ainsi l'avantage de se prêter facilement à l'étude des modifications que l'on peut essayer d'apporter à la forme et à la constitution des grains. Nous indiquons plus loin quelques tentatives de ce genre, faites à Saint-Chamas pendant l'année 1880.

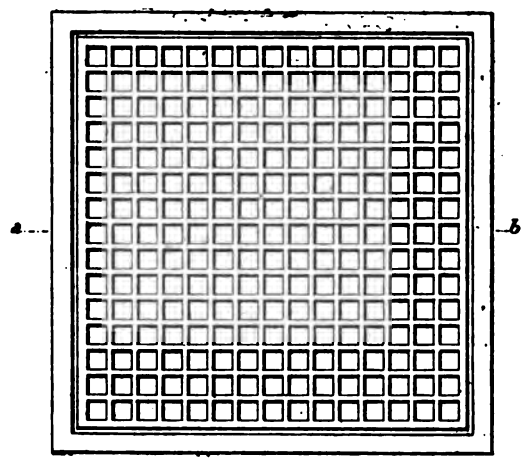
C'est en 1875, au début de la fabrication des poudres à gros grains, que l'un de nous eut l'idée de substituer au grenage avec les maillets à pointes le moulage dans des damiers en caoutchouc souple, maintenus dans des châssis rigides de forme convenable. Les essais, commencés à la poudrerie d'Angoulême, furent repris en 1879 à la poudrerie de Saint-Chamas, où ils ont été poursuivis sans interruption. On a fabriqué, depuis cette époque et par ce procédé, plus de 700 000^{kg} de poudre SP_1, 150 000^{kg} de poudre SP_2 et 10 000^{kg} de poudre SP_3.

§ I.

MOULES ET CHASSIS.

Dans une note adressée à M. le ministre de la guerre le 15 février 1880, nous avons indiqué la méthode à suivre pour déterminer, au moyen de moules faits à la main, les dimensions à donner aux damiers définitifs; ceux-ci sont obtenus d'une seule

Fig. 1.



Moule dans son châssis.

pièce, sans couture ni collage, par le moulage du caoutchouc dans une matrice métallique.

Les tableaux suivants donnent les dimensions adoptées pour les moules et les châssis en service pour les poudres SP_1, SP_2 et

Fig. 2.

Coupe par *ab*.

SP_3. On y verra que les mêmes châssis sont employés à la fois pour les poudres SP_2 et SP_1, et que, pour cette dernière espèce de poudre, on avait été obligé de faire fabriquer deux types de

moules, ne différant très légèrement entre eux que par les dimensions des cases, afin de pouvoir obtenir des produits satisfaisant aux conditions réglementaires, qui, à cette époque, imposaient une limite inférieure pour le nombre des grains au kilogramme, outre la limite supérieure actuelle.

I. — Moules.

ESPÈCE de poudre.	DIMENSIONS extérieures.			DIMENSIONS des cases.			NOMBRE de cases.	ÉPAISSEUR des bords.	ÉPAISSEUR des cloisons.	ÉPAISSEUR du fond.	POIDS.
	Largeur.	Longueur.	Hauteur.	Largeur.	Longueur.	Hauteur.					
	mm	mm	mm	mm	mm	mm		mm	mm	mm	kg.
SP_1.....	370	370	20	15	15	12,5	400	9	2,7	7,5	2,100
	370	370	20	14	14	12,5	431	12	2,6	7,5	2,200
SP_2.....	370	370	25	22	22	17	225	6	2	8	2,100
SP_3.....	337	337	43	37,5	37,5	38	64	9	2,5	5	2,100

II. — Châssis.

ESPÈCE de poudre.	DIMENSIONS extérieures.			DIMENSIONS du logement intérieur du moule.			ÉPAISSEUR		POIDS.	OBSERVATIONS.
	Longueur.	Largeur.	Hauteur.	Longueur.	Largeur.	Hauteur.	du fond.	des bords.		
SP_1 et SP_2..	mm 398	mm 398	mm 20	mm 373	mm 373	mm 15	mm 5	mm 12,5	kg 9,500	Pour la poudre SP_1, on place au fond du logement un carton de 3mm à 4mm d'épaisseur.
SP_1..	370	370	42	343 337	343 337	27	15	13,5 16,5	20,00	

Les châssis sont en bronze; le bois et le caoutchouc durci n'ont donné que de mauvais résultats. La *fig.* 3 donne en grandeur naturelle le dessin du châssis pour SP_1 et SP_2; la *fig.* 4, celui du châssis pour SP_3. On voit que, pour ce dernier, le logement réservé au moule est évasé dans la partie supérieure, afin de recevoir le caoutchouc pendant la compression. Sans cette précaution, les

grains extérieurs subiraient des déformations trop considérables. Il est même bon, pour les poudres plus grosses que la poudre SP_3, d'abandonner les grains du pourtour en réduisant leur largeur

Fig. 3.

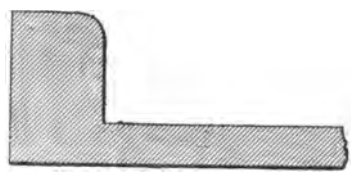
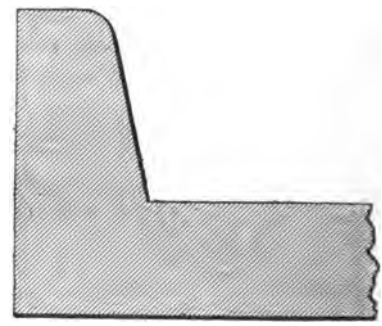


Fig. 4.



de moitié; cela n'a d'autre inconvénient que de diminuer le rendement.

---

§ II.

MODE D'EMPLOI.

Les presses hydrauliques, dont dispose la poudrerie de Saint-Chamas, ont $0^m,27$ de diamètre de piston et $0^m,61$ de largeur de plateau. La pression de l'eau peut s'élever jusqu'à 200^{atm}.

L'opération est la même pour toutes les espèces de poudres; elle est conduite de la manière suivante :

Le mouleur place le damier sur des traverses en bois, disposées convenablement au-dessus de la maie dans laquelle on a versé le mélange, aussi parfait que possible, de grains et de poussier provenant des grenoirs. Cette matière doit avoir environ 3,50 pour 100 d'humidité; en la tenant plus sèche, on risquerait d'obtenir des pressions trop fortes aux épreuves balistiques.

L'ouvrier puise la matière au moyen d'une main en bois et la répand sur le damier. Il passe ensuite, sur la surface de celui-ci, une règle plate en bois, en l'inclinant dans le sens du mouvement et en pressant légèrement, afin de faire tasser un peu la matière et de la forcer à remplir entièrement les cases. Cela fait, avec la

même règle, mais inclinée en sens contraire, il enlève tout l'excédent en arasant la poudre au niveau de la partie supérieure du moule et donne quelques coups légers pour faire apparaître nettement les cloisons. Le damier est alors placé dans un châssis, puis recouvert d'une toile et apporté sur le plateau de la presse.

On dispose les châssis les uns au-dessus des autres, comme les plaques dans l'opération du pressage des galettes ordinaires, et l'on monte la pression que l'on maintient pendant un temps qui varie de 2 à 3 minutes.

Pour démouler, on retire le damier de son logement dans le châssis et on le renverse sur une table. Les grains restent sur la toile, et le damier se trouve en général entièrement vide. Quand on se sert d'un moule neuf, les grains sortent un peu moins facilement de leurs cases et, en outre, sont recouverts d'une légère poussière grise; ces deux inconvénients disparaissent après un petit nombre d'opérations. Si quelques grains sont restés dans le moule, on les en fait sortir facilement en frappant légèrement celui-ci contre la table et en lui donnant quelques secousses avec la paume de la main.

Trois hommes peuvent faire le service intérieur d'un atelier contenant une presse hydraulique. Aussitôt qu'une pressée est terminée, l'ensemble des moules et des châssis est enlevé du plateau et posé sur une table voisine de la maie. Le premier ouvrier enlève les moules des châssis, et les donne au mouleur à côté de lui après en avoir extrait les grains. Celui-ci les remplit de la manière indiquée plus haut et les passe au troisième ouvrier qui les met dans les châssis en bronze et porte le tout sur le plateau de la presse, en ayant soin d'interposer une toile entre chaque moule et le châssis suivant.

Les renseignements sur la durée et le degré de la pression, le rendement journalier d'une presse, etc., pour chacune des poudres SP_1 et SP_2, les seules pour lesquelles des pressées complètes aient été faites, sont contenus dans le tableau suivant :

ESPÈCE de poudre.	POIDS de poudre dans chaque pressée.	NOMBRE de pressées en 10 heures.	DURÉE moyenne d'une opération.	DEGRÉ moyen de la pression.	NOMBRE de moules par pressée.	QUANTITÉ de poudre produite en 10 heures par presse.	PRESSION moyenne par centimètre carré.
SP_1.....	47^{kg}	24	25^{m}	50^{atm}	35	1120^{kg}	20 à 22^{kg}
SP_2.....	66^{kg}	18	35^{m}	60^{atm}	30	1180^{kg}	24 à 26^{kg}

§ III.

EXPÉRIENCES COMPARATIVES.

Afin qu'on puisse bien se rendre compte de la valeur du procédé, nous allons comparer les résultats obtenus par l'emploi des moules en caoutchouc à ceux que donnent les autres modes de grenage employés pour la fabrication des mêmes poudres réglementaires SP_1, SP_2, etc. La comparaison portera principalement sur la poudre SP_1, dont la production a eu le plus d'importance a Saint-Chamas depuis l'emploi des moules en caoutchouc.

Les points les plus intéressants à étudier sont les suivants : régularité des produits obtenus, qualités balistiques de ces produits, commodité et sécurité du procédé, enfin influence de ce procédé sur le prix de revient de la poudre.

I. — Régularité des produits obtenus.

Lorsqu'on veut produire des galettes par la compression, entre des plaques de cuivre ou de caoutchouc durci, d'un mélange de grains fins et de poussier, la matière placée sur le bord de ces plaques ne rencontrant aucune résistance à l'extension latérale, il se produit sur chacun des côtés de la galette une bande de matière sans aucune consistance que l'on est obligé de racler et de faire tomber avec un couteau en bois. C'est ce qu'on appelle l'*ébarbage*. Ces *ébarbures* enlevées, ce qui reste de la galette est assez dur pour se prêter à l'opération du découpage sans se mettre en poussier, mais il est bien évident que toutes les parties d'une

telle galette n'ont pas une densité uniforme et que cette densité va en augmentant des bords vers le centre.

Dans le procédé de moulage au caoutchouc, le châssis en bronze forme obstacle à l'extension latérale, et les grains des bords du moule ont une consistance assez grande pour pouvoir être lissés. Il n'y a donc plus d'*ébarbures*. Cependant il y a encore des différences de densités entre ces grains des bords et ceux du centre du même damier.

Les autres qualités physiques : humidité, dimensions des grains, etc., peuvent également varier, non seulement aux différents points d'un même moule ou d'une même galette, mais encore dans tous les moules ou galettes d'une pressée.

Il y a intérêt à rechercher lequel des procédés de grenage permet de s'approcher davantage de la régularité absolue.

Les expériences faites à la poudrerie de Saint-Chamas ont donc eu pour but de constater la loi suivant laquelle les qualités physiques : densité, humidité, etc., varient dans les différentes parties d'une même pressée.

A. Poudres moulées au caoutchouc.

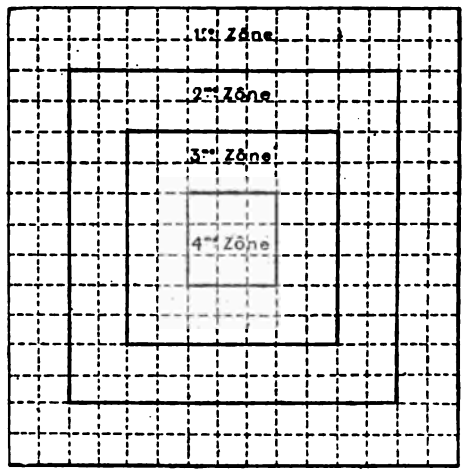
Les expériences sont au nombre de 9 : 5 pour la poudre SP_2 (1880) et 4 pour la poudre SP_1 (1881 et 1882). Les moules ayant servi aux premières ont tous 15 rangées de 15 cases chacune; une pressée comprenait 20 moules. Pour les autres, la pressée se composait également de 20 moules, mais chacun de ceux-ci est à 20 rangées de 20 cases, soit 400 en tout.

Chaque moule est divisé en 4 zones. Dans le cas de la poudre SP_2 (*fig.* 5), la zone centrale comprend les 9 grains du centre, les autres forment autour de celle-ci des bandes concentriques ayant 2 grains en largeur. Pour la poudre SP_1 (*fig.* 6), la zone du milieu comprend 36 grains, la suivante 3 grains en largeur, et les deux dernières 2 grains seulement.

Mais la quantité de grains donnée dans chaque zone par un seul moule étant insuffisante pour l'exécution des épreuves, on a réuni les zones correspondantes d'un certain nombre de moules : à cet effet, on a partagé chaque pressée, dans sa hauteur, en 4 tranches numérotées de 1 à 4, à partir du bas, et comprenant chacune 5 moules.

La pressée totale s'est trouvée ainsi divisée en 16 régions dis-

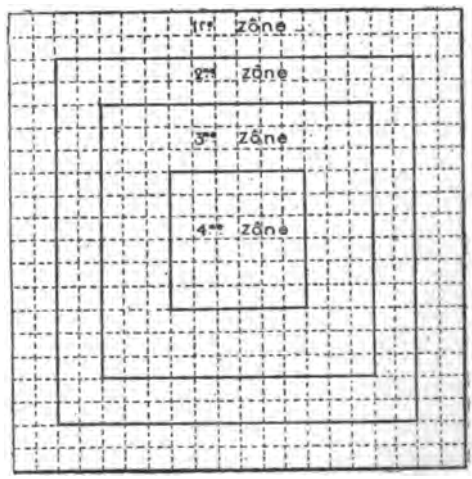
Fig. 5.



SP_3.

tinctes dont on a déterminé les densités et humidités : les tableaux

Fig. 6.



SP_4.

suivants donnent les résultats obtenus :

POUDRE SP$_1$.

NUMÉROS des tranches.	NUMÉROS DES ZONES. 1 (bords). Densité.	1 (bords). Humidité.	2. Densité.	2. Humidité.	3. Densité.	3. Humidité.	4 (centre). Densité.	4 (centre). Humidité.	OBSERVATIONS.	
					I.					
1ère tranche (en bas).. ..	1,815	3,54	1,842	3,61	1,843	3,66	1,848	3,53	Degré de la pression.	80atm
2e tranche.....	1,811	3,86	1,835	3,63	1,856	3,61	1,849	3,62	Durée de la pression.	3m
3e tranche.....	1,801	4,07	1,842	3,55	1,855	3,65	1,862	3,68	Densité moyenne.....	1,825
4e tranche (en haut).....	1,780	3,88	1,842	3,48	1,860	3,57	1,860	3,74	Humidité moyenne...	3,70
					II.					
1ère tranche (en bas).....	1,797	4,12	1,837	4,40	1,843	4,22	1,840	4,14	Degré de la pression..	80atm
2e tranche.....	1,789	4,10	1,830	4,30	1,853	4,15	1,859	3,92	Durée de la pression..	3m
3e tranche.....	1,785	4,30	1,841	4,35	1,858	4,08	1,866	3,98	Densité moyenne.....	1,816
4e tranche (en haut).....	1,778	4,46	1,842	4,40	1,861	4,16	1,866	3,84	Humidité moyenne...	4,24
					III.					
1ère tranche (en bas).....	1,766	4,48	1,822	4,50	1,833	4,46	1,836	4,28	Degré de la pression..	80atm
2e tranche.....	1,751	4,33	1,820	4,29	1,831	4,38	1,847	4,34	Durée de la pression..	3m
3e tranche.....	1,734	4,33	1,815	4,25	1,850	4,36	1,858	4,27	Densité moyenne.....	1,789
4e tranche (en haut).....	1,726	4,26	1,816	4,22	1,851	4,30	1,859	4,26	Humidité moyenne....	4,34
					IV.					
1ère tranche (en bas).....	1,729	2,75	1,772	2,70	1,780	2,85	1,780	2,86	Degré de la pression..	80atm
2e tranche.....	1,724	2,85	1,774	2,84	1,781	2,70	1,784	2,84	Durée de la pression..	3m
3e tranche.....	1,727	2,73	1,774	2,81	1,797	2,82	1,802	2,84	Densité moyenne.....	1,752
4e tranche (en haut).....	1,707	2,77	1,777	2,85	1,806	2,89	1,809	2,70	Humidité moyenne....	2,76
					V.					
1ère tranche (en bas).....	1,784	3,90	1,847	4,06	1,850	3,90	1,852	3,94	Degré de la pression..	80atm
2e tranche.....	1,791	3,94	1,837	4,03	1,856	3,86	1,858	3,98	Durée de la pression..	3m
3e tranche.....	1,783	4,05	1,834	4,02	1,861	3,85	1,869	3,90	Densité moyenne.....	1,817
4e tranche (en haut).....	1,766	4,14	1,844	3,75	1,863	3,85	1,863	3,90	Humidité moyenne....	3,96

POUDRE SP_1.

NUMÉROS des tranches.	NUMÉROS DES ZONES. 1 (bords). Densité.	Humidité.	2. Densité.	Humidité.	3. Densité.	Humidité.	4 (centre). Densité.	Humidité.	OBSERVATIONS.	
					VI.					
1ère tranche (en bas).....	1,800	3,18	1,807	3,26	1,793	3,24	1,783	3,24	Degré de la pression..	55atm
2e tranche.....	1,787	3,08	1,814	3,20	1,808	3,31	1,812	3,14	Durée de la pression..	3m
3e tranche.....	1,789	3,23	1,807	3,28	1,811	3,12	1,803	3,28	Densité moyenne.....	1,799
4e tranche (en haut).....	1,764	3,29	1,804	3,23	1,816	3,11	1,827	3,20	Humidité moyenne....	3,21
					VII.					
1ère tranche (en bas).....	1,784	2,49	1,797	2,28	1,785	2,54	1,768	2,54	Degré de la pression..	55atm
2e tranche.....	1,788	2,43	1,784	2,42	1,772	2,58	1,765	2,50	Durée de la pression..	3m
3e tranche.....	1,790	2,57	1,792	2,51	1,789	2,48	1,767	2,38	Densité moyenne.....	1,783
4e tranche (en haut).....	1,736	2,55	1,792	2,55	1,806	2,57	1,807	2,24	Humidité moyenne....	2,49
					VIII.					
1ère tranche (en bas).....	1,702	3,34	1,772	3,26	1,786	3,35	1,795	3,21	Degré de la pression..	45atm
2e tranche.....	1,704	3,50	1,768	3,22	1,786	3,19	1,793	3,16	Durée de la pression..	3m
3e tranche.....	1,712	3,55	1,770	2,37	1,795	3,11	1,805	3,00	Densité moyenne.....	1,754
4e tranche (en haut).....	1,681	3,30	1,764	3,04	1,800	3,12	1,819	3,10	Humidité moyenne....	3,26
					IX.					
1ère tranche (en bas).....	1,767	2,64	1,804	2,65	1,804	2,68	1,789	2,70	Degré de la pression..	60atm
2e tranche.....	1,725	2,69	1,804	2,71	1,837	2,67	1,845	2,74	Durée de la pression..	2m
3e tranche.....	1,732	2,66	1,805	2,67	1,842	2,68	1,852	2,70	Densité moyenne.....	1,787
4e tranche (en haut).....	1,732	2,68	1,805	2,67	1,843	2,71	1,854	2,68	Humidité moyenne....	2,67

En tirant de ces tableaux les valeurs maxima et minima de la densité et de l'humidité de chaque pressée et en prenant les différences entre ces valeurs et la moyenne générale inscrite à la colonne d'observations, on obtiendra des écarts en plus et en moins dont la somme donnera l'écart total existant entre les densités et humidités extrêmes de la pressée ; c'est l'objet des tableaux suivants :

POUDRE SP_2.

DENSITÉ				HUMIDITÉ POUR 100			
moyenne.	maximum.	minimum.	Écarts.	moyenne.	maximum.	minimum.	Écarts.
			I.				
1,825	1,862	1,780	0,037 0,045	3,70	4,07	3,48	0,37 0,22
		TOTAL...	0,082			TOTAL...	0,59
			II.				
1,816	1,866	1,778	0,050 0,038	4,24	4,46	3,84	0,22 0,40
		TOTAL...	0,088			TOTAL...	0,62
			III.				
1,789	1,859	1,726	0,070 0,063	4,34	4,50	4,22	0,16 0,12
		TOTAL...	0,133			TOTAL...	0,28
			IV.				
1,752	1,809	1,707	0,057 0,045	2,76	2.89	2,70	0,13 0,06
		TOTAL...	0,102			TOTAL...	0,19
			V.				
1,817	1,869	1,766	0,052 0,051	3,96	4,1	3,71	0,18 0.25
		TOFAL...	0,103			TOTAL...	0,43

POUDRE SP_1.

DENSITÉ				HUMIDITÉ POUR 100			
moyenne.	maximum.	minimum.	Écarts.	moyenne.	maximum.	minimum.	Écarts.
			VI.				
1,799	1,827	1,764	0,028 0,035	3,21	3,31	3,08	0,10 0,13
		TOTAL...	0,063			TOTAL...	0,23
			VII.				
1,783	1,807	1,736	0,024 0,047	2,49	2,58	2.24	0,09 0,25
		TOTAL...	0,071			TOTAL...	0,34
			VIII.				
1,754	1,819	1,681	0,065 0,073	3,26	3,55	3,00	0,29 0,26
		TOTAL...	0,138			TOTAL...	0,55
			IX.				
1,787	1,854	1,725	0,067 0,062	2,67	2,74	2,64	0,07 0,03
		TOTAL...	0,129			TOTAL...	0,10

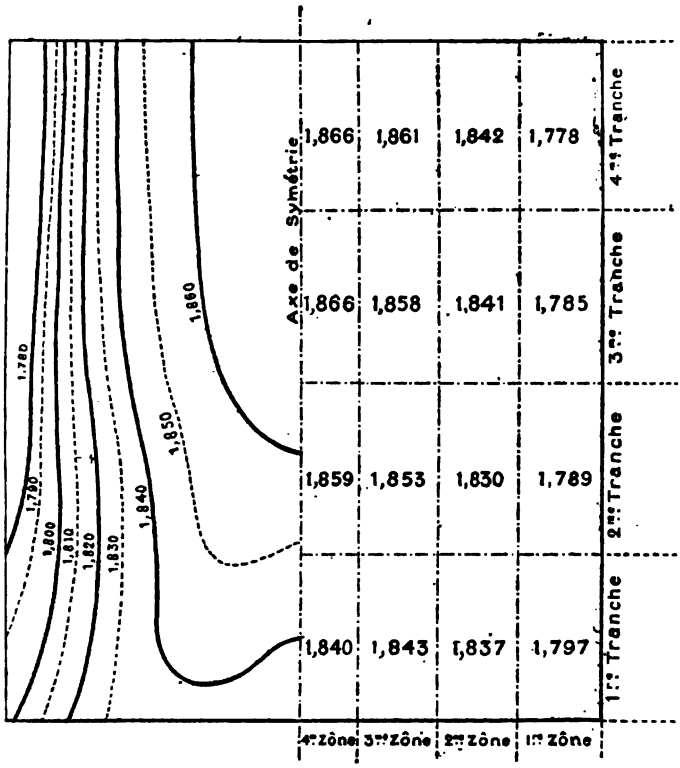
Pour la densité, l'écart total varie entre $\frac{1}{43}$ et $\frac{1}{29}$ de la densité de la pressée et est en moyenne de $\frac{1}{47}$; pour l'humidité il varie entre $\frac{1}{6}$ et $\frac{1}{24}$ de l'humidité de la pressée et est en moyenne de $\frac{1}{9}$.

Enfin si, pour la densité, qui est, parmi les qualités physiques d'une poudre, l'élément le plus important, on calcule dans chaque expérience l'écart moyen, c'est-à-dire la moyenne des écarts en dessus et en dessous de la densité moyenne; on trouve que cet écart moyen est toujours resté inférieur à $\frac{1}{50}$ de la densité moyenne.

Il a paru intéressant de construire, au moyen des données fournies par les tableaux n^{os} 1 et 2 précédents, les courbes d'égales densités, dans un plan passant par l'axe vertical de symétrie d'une pressée.

Les *fig.* 7 et 8 montrent, à droite de l'axe de symétrie, la divi-

Fig. 7.



SP_2 (n° II).

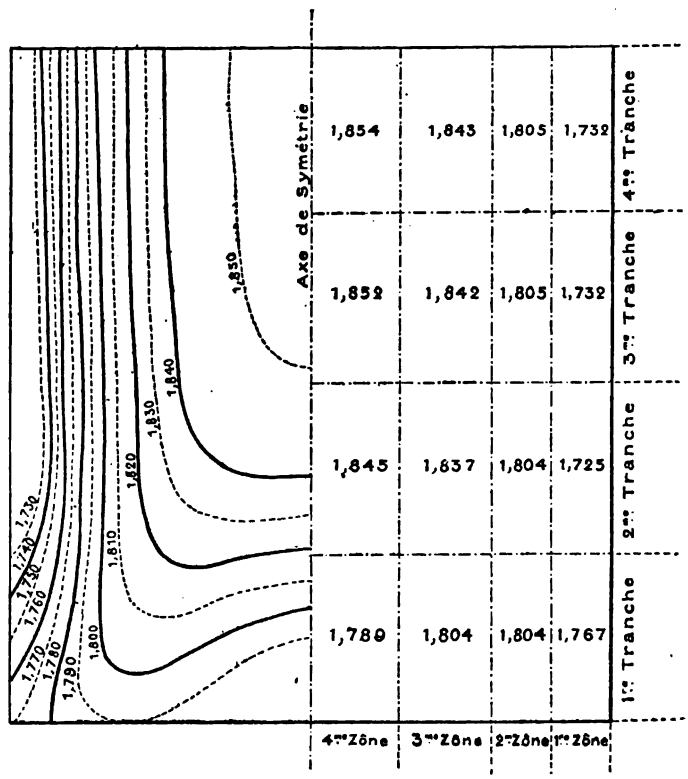
sion de la pressée en zones et tranches, avec indication de la densité moyenne pour chacune des régions ainsi formées, et à gauche de cet axe les courbes d'égales densités. Elles sont relatives aux deux expériences n^{os} II (SP_2) et IX (SP_4), pour lesquelles les résultats ont été donnés plus haut (p. 195 et 196).

Les courbes relatives aux autres expériences sont de mêmes formes et ont la même disposition que celles-ci.

L'examen de ces courbes montre que, sur une même verticale, la densité varie peu, tandis que, au contraire, dans un même plan horizontal, elle subit des variations assez considérables. C'est presque toujours dans le moule placé à la partie supérieure de la

pressée qu'ont été trouvées les densités maxima et minima. Dans tous les cas, l'écart des densités extrêmes, dans ce moule, est à

Fig. 8.



SP_1 (n° IX).

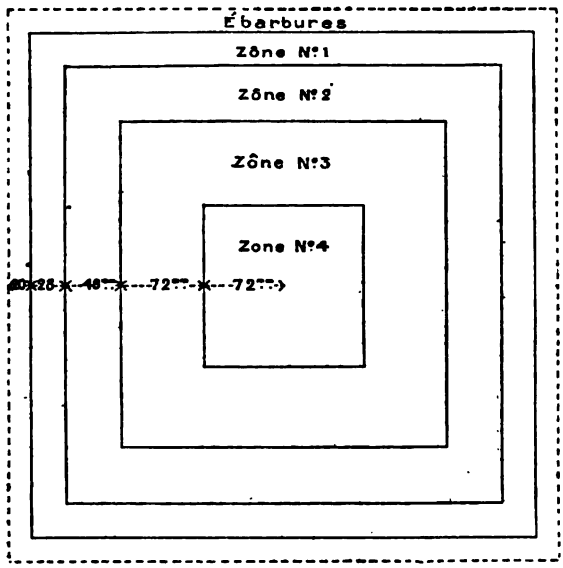
peu près double du même écart dans le moule placé à la partie inférieure.

B. Poudre obtenue par le découpage d'une galette lisse.

Les expériences ont porté sur des galettes de même épaisseur que la poudre SP_1. La largeur intérieure du cadre ayant servi à régulariser la matière au moment du pressage est de $0^m,465$. Les *ébarbures* forment sur tout le pourtour une bande de $0^m,02$ environ (à peu près $\frac{1}{8}$ du poids total de la matière comprise entre deux plaques). Après l'*ébarbage,* la galette ne forme plus qu'un carré

de $0^{m},44$ de côté. Une pressée comprend 20 galettes. Chaque galette est divisée en 4 zones, comme l'indique la *fig.* 9; au moyen

Fig. 9.



du couteau belge, la poudre composant chacune de ces zones est découpée et mise à part.

Les matières des zones correspondantes de 5 galettes consécutives sont réunies, concassées et bien mélangées; c'est sur les mélanges ainsi obtenus que sont faites les épreuves de densité et d'humidité. La pressée entière se trouve ainsi divisée, comme dans les essais sur les poudres moulées au caoutchouc, en 16 régions pour chacune desquelles on détermine la densité et l'humidité moyennes.

Le tableau suivant donne les chiffres obtenus de cette manière dans 3 expériences faites en 1882 :

NUMÉROS des tranches.	NUMÉROS DES ZONES. 1 (bords). Densité.	Humidité.	2. Densité.	Humidité.	3. Densité.	Humidité.	4 (centre). Densité.	Humidité.	OBSERVATIONS.	
					I.					
1ère tranche (en bas).....	1,697	4,06	1,809	3,81	1,833	3,71	1,845	3,73	Degré de la pression..	120atm
2e tranche.....	1,693	4,00	1,811	3,91	1,830	3,81	1,848	3,50	Durée de la pression..	2m
3e tranche.....	1,690	3,79	1,813	3,77	1,828	3,81	1,848	3,66	Densité moyenne.....	1,793
4e tranche (en haut).....	1,703	3,65	1,804	3,79	1,828	3,94	1,841	3,69	Humidité moyenne...	3,81
					II.					
1ère tranche (en bas).....	1,629	3,48	1,767	3,44	1,829	3,34	1,874	3,22	Degré de la pression..	120atm
2e tranche.....	1,640	3,48	1,756	3,46	1,836	3,34	1,864	3,22	Durée de la pression..	2m,30s
3e tranche.....	1,650	3,50	1,762	3,48	1,830	3,36	1,875	3,24	Densité moyenne.....	1,766
4e tranche (en haut).....	1,643	3,42	1,761	3,30	1,834	3,28	1,878	3,26	Humidité moyenne...	3,38
					III.					
1ère tranche (en bas).....	1,603	3,38	1,725	3,30	1,815	3,26	1,850	3,00	Degré de la pression..	120atm
2e tranche.....	1,622	3,36	1,742	3,32	1,813	3,30	1,850	3,30	Durée de la pression..	2m,30s
3e tranche....	1,618	3,46	1,751	3,38	1,814	3,34	1,850	3,26	Densité moyenne.....	1,749
4e tranche (en haut).....	1,635	3,48	1,759	3,44	1,828	3,42	1,851	3,34	Humidité moyenne...	3,37

Il est facile de tirer de ce tableau, comme on l'a fait pour les grains obtenus par le moulage au caoutchouc, les valeurs maxima et minima de la densité et de l'humidité, ainsi que les écarts entre ces valeurs.

Ces résultats sont consignés ci-dessous pour chacune des 3 expériences :

DENSITÉ				HUMIDITÉ POUR 100			
moyenne.	maximum.	minimum.	Écarts.	moyenne.	maximum.	minimum.	Écarts.
			I.				
1,793	1,848	1,690	0,055	3,81	4,06	3,50	0,25
			0,103				0,31
		TOTAL...	0,158			TOTAL...	0,56
			II.				
1,766	1,878	1,629	0,112	3,38	3,48	3,22	0,10
			0,137				0,16
		TOTAL...	0,249			TOTAL...	0,26
			III.				
1,749	1,851	1,603	0,102	3,37	3,48	3,00	0,11
			0,146				0,37
		TOTAL...	0,248			TOTAL...	0,48

En prenant les moyennes des écarts entre les valeurs extrêmes indiquées par le tableau précédent, on obtient les chiffres suivants :

Pour les densités : $\frac{1}{8}$ environ de la densité moyenne.

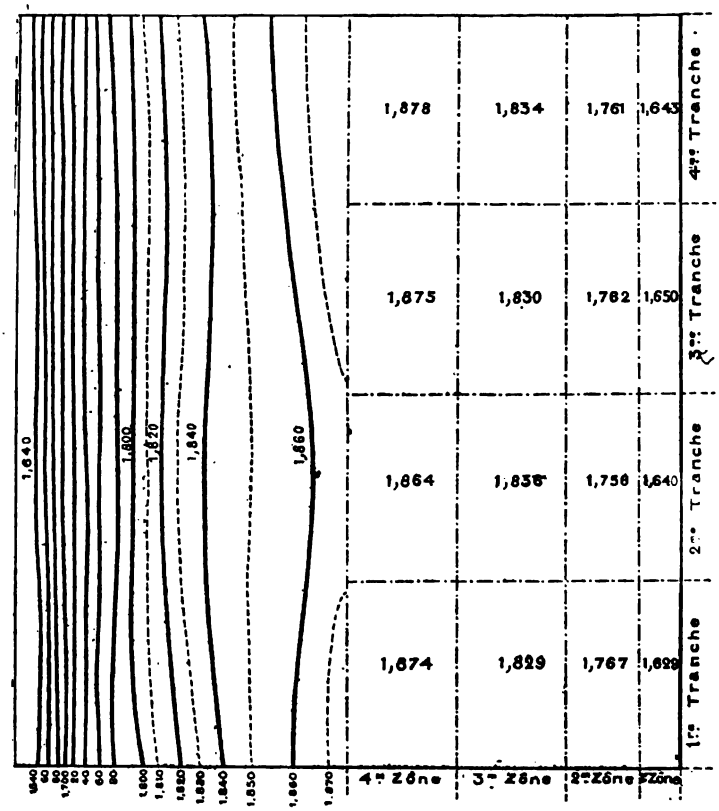
Pour les humidités : $\frac{1}{8}$ environ de l'humidité moyenne.

Les écarts moyens, ou moyennes des écarts en dessus et en dessous de la densité moyenne, sont pour chacune des 3 expériences : $\frac{1}{39}$, $\frac{1}{27}$ et $\frac{1}{26}$ de cette densité. On peut admettre le chiffre de $\frac{1}{30}$.

La *fig.* 10, analogue aux *fig.* 7 et 8 relatives aux poudres moulées au caoutchouc, donne les courbes d'égales densités et les

densités de chaque région concernant l'expérience II. Les courbes

Fig. 10 (n° II).



obtenues pour les expériences I et III sont absolument analogues.

C. Comparaison des résultats.

Dans les deux séries d'expériences, les écarts d'humidité sont à peu près les mêmes. Le mode de pressage en galettes lisses ou en grains moulés ne paraît avoir, en effet, aucune influence sur la répartition de l'humidité dans la masse.

D'ailleurs, le principal intérêt de ces expériences portait sur les densités. Or on a vu que, dans un cas, les écarts absolus entre les densités extrêmes n'étaient que d'environ $\frac{1}{17}$ de la densité

moyenne, tandis que dans l'autre ils s'élevaient à $\frac{1}{8}$, c'est-à-dire à plus du double. Il en est de même pour les écarts moyens qui, avec l'emploi des moules en caoutchouc, ne varient que de $\frac{1}{50}$ à $\frac{1}{138}$, tandis que, avec les galettes lisses, ils sont de $\frac{1}{30}$ en moyenne. La régularité dans les densités se trouve donc bien mieux assurée avec le procédé de moulage au caoutchouc : les chiffres précédents, dans lesquels on peut résumer les expériences faites à Saint-Chamas et décrites plus haut, le prouvent suffisamment.

D'un autre côté, la régularité dans la forme des grains est obtenue sans conteste par ce procédé; au contraire, tous ceux qui ont pour principe la formation de galettes et leur découpage par un moyen quelconque, ne donnent que des grains plus ou moins irréguliers dont l'épaisseur seule est sensiblement constante.

Enfin, le nombre des grains au kilogramme est également moins variable quand ces grains sont toujours de même forme et de mêmes dimensions que lorsqu'ils sont irréguliers.

II. — Qualités balistiques des poudres obtenues.

Plusieurs lots de poudre SP_2, fabriqués à Saint-Chamas, ont été refusés comme donnant trop de vitesse et trop de pression; mais, au moment de la fabrication de cette espèce de poudre, la poudrerie ne possédait pas de canon de 24^{cm}, et aucune épreuve balistique préalable n'avait pu être faite. On ne peut donc tirer aucune conclusion de ces refus.

Pour la poudre SP_1, des $700\,000^{kg}$ fabriqués à Saint-Chamas au moyen des moules en caoutchouc, les $\frac{9}{10}$ au moins ont été admis en recette par la commission de réception de Versailles. Au commencement, les pressions obtenues avec cette poudre étaient assez fortes, ce qui s'explique facilement, la poudrerie ne possédant alors aucun moyen de mesure pour ces pressions. Mais, si l'on prend les moyennes pour les 30 lots, reçus de décembre 1881 à décembre 1882, on trouve 2085^{kg} de pression pour une vitesse de $454^{m},5$. A la poudrerie du Ripault, 4 lots reçus en septembre 1882 ont donné 454^{m} et 2040^{kg} et, à la poudrerie d'Angoulême, sur 12 lots reçus pendant le premier semestre de 1882, la pression moyenne a été de 1970^{kg} et la vitesse moyenne de $450^{m},5$ seulement. Ces résultats sont à peu près équivalents, et, s'il y a une

différence en plus pour les pressions des poudres de Saint-Chamas, elle est peu sensible.

En somme, le procédé de moulage au caoutchouc n'est pas inférieur aux autres modes de grenage en ce qui concerne les qualités balistiques des produits obtenus.

III. — Commodité et sécurité du procédé.

Au point de vue de la commodité et de la sécurité, tout procédé qui supprime une quelconque des opérations permettant de transformer en poudre perfectionnée le salpêtre, le soufre et le charbon primitifs, aura, toutes choses égales d'ailleurs, l'avantage sur les autres.

Or l'emploi des moules en caoutchouc permet de supprimer l'ébarbage, le découpage et le premier tamisage qui a pour but de séparer les grains utilisables du poussier formé par les machines à découper. Au sortir de la presse, la poudre moulée au caoutchouc est prête à être mise au lissoir.

D'un autre côté, les moules permettent de presser la matière sèche aussi bien qu'humide, tandis que la plupart des procédés de découpage exigent, pour donner un bon rendement en grains, que la matière soit très humide.

Enfin le découpage, déjà peu facile pour la poudre SP_3, devient très difficile pour les poudres plus grosses, et absolument impossible pour les poudres prismatiques, les poudres percées, les cartouches de mine, etc., tandis que l'on peut obtenir sans difficulté toutes ces espèces de grains par le moulage au caoutchouc.

Plus spécialement, au point de vue de la sécurité, on peut dire que, dans la fabrication de la poudre, les opérations ayant pour but la trituration, le broyage ou le découpage sont les plus dangereuses. L'emploi des moules en caoutchouc, permettant de supprimer les machines à découper qui n'agissent que par chocs, offre donc moins de dangers que les autres modes de grenage.

IV. — Influence du procédé sur le prix de revient de la poudre.

Une modification quelconque dans les procédés de fabrication d'une poudre peut influer sur trois des éléments de son prix de revient : main-d'œuvre, frais généraux et intérêts des capitaux engagés.

A. Main-d'œuvre.

A Saint-Chamas, avec l'emploi des moules en caoutchouc, pour la poudre SP_1, le nombre d'ouvriers, faisant le service de deux presses, est le suivant :

	Ouvriers.
Aux presses	6
A la pompe	2
Aux transports	1
Surveillant	1
Total	10

La quantité de grains produite en 10^h de travail étant de 2200^{kg} pour les deux presses, il en résulte que la main-d'œuvre est d'environ 45^h par 1000^{kg}, entre le moment où la matière provenant du grenoir est mise au dépôt et celui où le grain terminé retourne au dépôt voisin pour y attendre le lissage. Avec des pompes mues mécaniquement, cette main-d'œuvre descendrait au-dessous de 40^h.

D'après des renseignements donnés par les poudreries d'Angoulême et du Ripault, où l'on emploie le procédé de découpage au couteau et où les pompes sont actionnées mécaniquement, la main-d'œuvre serait de 60^h à 70^h par 1000^{kg}. Dans l'un et l'autre de ces établissements le rendement final en grains n'est guère que de 85 pour 100.

Le procédé de moulage au caoutchouc offre donc une économie d'environ $\frac{1}{3}$ sur la main-d'œuvre, soit 20^h à 25^h, correspondant à environ $0^{fr},80$ par 100^{kg}.

Cette économie pourrait encore être augmentée si l'on employait les pompes à large piston avec chargement rapide, de manière à faire produire journellement à chaque presse de 1500^{kg} à 1600^{kg} de grains.

B. Frais généraux.

Les frais généraux comprennent, outre les dépenses d'administration, les frais de réparations et de renouvellement du matériel. L'achat de caoutchouc, pour remplacer les moules usés, serait donc la plus grosse dépense spéciale au procédé que nous étudions. On n'a pas encore de données précises sur la durée des moules, mais on peut déjà affirmer que cette durée sera assez considérable, puisque les 115 moules pour SP_1, en service à Saint-

Chamas depuis plus de 2 ans, et avec lesquels on a déjà fabriqué au moins 700 000^{kg} de poudre, sont encore en très bon état. Admettons, pour calculer largement, que les frais généraux soient augmentés de ce fait de 0^{fr},10 par 100^{kg}, ce qui conduit à supposer que chaque moule actuel pourrait encore suffire à un travail double de celui qu'il a déjà effectué depuis sa mise en service, comme ces frais généraux se trouveront d'autre part diminués par la réduction de la main-d'œuvre, proportionnellement à laquelle ils sont répartis sur chaque espèce de poudre; on voit qu'en définitive l'avantage est encore à ce point de vue au procédé de moulage au caoutchouc.

C. Intérêts des capitaux engagés.

Pour les poudres SP_1 et SP_2, le prix moyen d'un châssis en bronze est d'environ 40^{fr} et celui d'un moule de 20^{fr} à 25^{fr} (10^{fr} le kilogramme). Il faut une quarantaine de moules et autant de châssis par presse, soit un matériel valant à peu près 2500^{fr}.

Les intérêts de cette somme, répartis sur une production annuelle minimum de 300 000^{kg}, grèvent le prix des 100^{kg} de poudre d'environ 0^{fr},04.

Les autres procédés de grenage exigent un matériel d'au moins 1000^{fr} à 1200^{fr} par presse (plaques en caoutchouc durci, toiles, machines à découper, tamis, etc.). En admettant la même production annuelle, les intérêts seraient d'environ 0^{fr},02 par 100^{kg}.

La différence en faveur de ces procédés est donc insignifiante.

En résumé, l'emploi des moules en caoutchouc a permis de réaliser sur le prix de revient des poudres SP_1 et SP_2 une économie sensible, qui pourrait être augmentée par l'adoption de presses plus puissantes et à chargement rapide.

---

§ IV.

POUDRES DIVERSES.

Nous avons dit plus haut qu'avec notre procédé on pouvait obtenir des grains qu'il serait impossible d'obtenir par les procédés ordinaires de grenage; nous citerons comme exemples la poudre cu-

bique de $0^m,050$ de côté, les poudres parallélépipédiques et prismatiques percées, et la poudre progressive, dont il a été fait quelques milliers de kilogrammes seulement à titre d'essai.

I. — Poudre cubique de $0^m,050$.

Les dimensions des moules définitifs et des châssis en bronze qui ont servi à cette fabrication sont les suivantes :

Moule.

DIMENSIONS extérieures.			DIMENSIONS des cases.			NOMBRE de cases.	ÉPAISSEUR des bords.	ÉPAISSEUR de cloison.	ÉPAISSEUR du fond.	POIDS.
Longueur.	Largeur.	Hauteur.	Longueur.	Largeur.	Hauteur.					
330^{mm}	330^{mm}	88^{mm}	50^{mm}	50^{mm}	78^{mm}	6 sur 6 ou 36	$7^{mm},5$	3^{mm}	10^{mm}	$3^k,350$

Châssis.

DIMENSIONS extérieures.			DIMENSIONS du logement.			ÉPAISSEUR du fond.	ÉPAISSEUR des bords.	POIDS.
Longueur	Largeur.	Hauteur.	Longueur	Largeur.	Hauteur.			
376^{mm}	376^{mm}	78^{mm}	336^{mm}	336^{mm}	63^{mm}	15^{mm}	20^{mm}	35^{kg}

II. — Poudres parallélépipédiques percées.

On a pris quelques-uns des moules ordinaires servant à la fabrication des poudres réglementaires SP_1, SP_2, SP_3. Au fond et au centre de chaque case on a percé un trou carré, et dans chacun de ces trous on a placé, solidement maintenues au moyen de colle Bouchou, de petites pyramides quadrangulaires tronquées à base carrée, ayant même hauteur que le moule lui-même.

Les dimensions des bases sont : pour la poudre SP_1 : $0^m,005$

et $o^m,004$; pour la poudre SP_2 : $o^m,0055$ et $o^m,007$, et pour la poudre SP_3 : $o^m,008$ et $o^m,010$.

Ces pyramides quadrangulaires en se comprimant prennent sensiblement la forme d'un prisme droit; les grains ainsi produits ont donc un canal central, à section carrée, de dimensions assez régulières.

III. — Poudres prismatiques percées.

On a confectionné un moule d'essai pour une poudre prismatique à base formée par un hexagone régulier, et percée d'un canal central à base circulaire.

Les dimensions de ce moule étaient les suivantes :

DIMENSIONS extérieures.			DIMENSIONS d'une case.		NOMBRE de cases entières	ÉPAISSEUR			DIMENSIONS du noyau central.	
Longueur.	Largeur.	Hauteur.	Côté de l'hexagone.	Hauteur.		du fond.	des bords.	des cloisons	Petite base.	Grande base.
215^{mm}	185^{mm}	50^{mm}	21^{mm}	40^{mm}	18	10^{mm}	10^{mm}	3^{mm}	5^{mm}	7^{mm}

Les premiers essais ont été assez satisfaisants et les grains suffisamment réguliers; mais, les cloisons du moule d'essai n'étant pas collées, celui-ci a été vite détérioré. On n'a pas fait faire de moules définitifs.

IV. — Poudres progressives.

L'emploi des moules en caoutchouc permet d'obtenir très facilement des grains formés de couches concentriques successives, de densités différentes, croissant du centre à la circonférence.

On forme d'abord des grains de poudre SP_1, puis on se sert de ceux-ci comme noyau dans les moules pour SP_2 en les plaçant au milieu de la matière avant pression. Le grain de SP_2 est ensuite transformé en SP_3, et ainsi de suite.

Les essais ont porté sur des grains de poudre SP_2, à deux couches concentriques seulement; le noyau avait une densité de

1,582, celle du grain final était de 1,797. La section de chaque grain indiquait nettement la séparation entre les deux couches.

Bien que les échantillons de poudres percées et progressives n'aient pas tout à fait donné les résultats balistiques que l'on espérait atteindre, nous avons cru utile d'en parler dans cette note pour montrer avec quelle facilité le caoutchouc se prête à la formation des grains les plus divers. Nous ne pensons pas, d'ailleurs, qu'il faille abandonner l'étude de ces poudres, car les essais que nous venons de relater ont été entrepris dans de mauvaises conditions, en 1880, à une époque où la poudrerie de Saint-Chamas ne possédait que des moyens d'épreuve imparfaits, et ils ont dû être interrompus presque au commencement.

§ V.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS.

Le moulage des poudres au caoutchouc, appliqué aux poudres SP_1, SP_2 et SP_3, donne des grains beaucoup plus réguliers de forme et de densité que les procédés en usage dans les diverses poudreries : maillets, cylindres, couteaux, toiles à baguettes, etc., sans diminuer en rien les qualités balistiques des produits obtenus. Il produit le rendement maximum; il offre une plus grande sécurité et diminue notablement la main-d'œuvre.

Il est applicable aux grains cubiques de $0^m,05$, aux grains percés, aux grains prismatiques, aux grains à couches hétérogènes quelle que soit la nature du noyau : poudre noire à combustion rapide, fulmicoton, etc.

Saint-Chamas, 8 février 1883.

RECHERCHES

SUR

LA NITRIFICATION DU COTON;

PAR

M. VIEILLE,

Ingénieur des poudres et salpêtres.

Des formules très diverses ont été proposées pour représenter la composition des produits nitrés dérivés de la cellulose et, en particulier, la composition des produits de nitrification maxima et minima. Les composés signalés ont d'ailleurs été obtenus par des procédés qui diffèrent à la fois par la température de la réaction, la concentration des acides et la nature des mélanges sulfonitriques employés. Aussi les résultats ne sont-ils pas susceptibles d'une interprétation générale.

Nous avons pensé qu'il y avait lieu de reprendre cette étude d'une façon méthodique et de rechercher l'influence des diverses méthodes de nitrification et de la température sur la nature des produits.

I. — Première méthode de nitrification.

Conditions du trempage. — Nous nous sommes proposé tout d'abord de déterminer la loi suivant laquelle le degré de nitrification et les qualités physiques varient dans des conditions de trempage bien définies, à savoir : le trempage dans l'acide azotique pur à divers degrés de concentration et à la température de 11°.

La nitrification est obtenue en immergeant le coton en ouate dans 100 à 150 fois son poids d'acide. On supprime ainsi toute élévation de température, et le titre acide du bain peut être considéré comme constant pendant la durée du trempage.

On opère dans des flacons en verre de 500^{cc} à large goulot, bouchés à l'émeri et refroidis extérieurement par un courant d'eau. Le vase reçoit d'abord 250^{cc} d'acide azotique. On introduit à la partie supérieure du vase 3^{gr} de coton en ouate bien cardée. On bouche, et par 4 à 5 secousses violentes le coton se trouve également réparti dans tout le vase, sans liquide surnageant; de sorte que chaque fibre peut être considérée comme entourée de 150 fois son poids d'acide.

Taux de nitrification. — La teneur en azote du produit nitrifié est déterminée par la méthode proposée par M. Schlœsing pour le dosage de l'acide azotique dans les nitrates. Cette méthode a dû subir, pour être appliquée aux dosages d'azote dans les explosifs, quelques modifications de détail qui sont données dans la note ci-après (p. 225), qui fait connaître, en même temps, le degré d'approximation réalisé dans les conditions que nous avons adoptées. Le tableau suivant résume les résultats de nos essais :

DENSITÉ de l'acide nitrique ($t = 15°$).	COMPOSITION de l'acide.	NOMBRE de centimètres cubes dégagés par 1^{gr} de produit nitré, $0°,760^{mm}$.	CARACTÈRES DES ÉCHANTILLONS.
1,502	$AzO^5 + 1.5\,HO$	202,1	Le produit nitré a l'aspect du coton. Il est complètement soluble dans l'éther acétique, très peu soluble dans l'éther pur ou alcoolisé.
1,497	"	197,9	
1,496	$AzO^5 + 1.68\,HO$	194,4	Soluble complètement dans l'éther acétique et dans l'éther alcoolisé. Le coton n'est pas attaqué.
1,492	"	187,3	
1,490	$AzO^5 + 1.85\,HO$	183,7	
1,488	$AzO^5 + 2.07\,HO$	165,7	Le produit nitrifié conserve l'aspect du coton. Il devient gélatineux et filant par l'action de l'éther acétique et de l'éther alcoolisé.
1,483	$AzO^5 + 2.13\,HO$	164,6	
1,476	$AzO^5 + 2.27\,HO$	141,1	Le coton se dissout dans l'acide en donnant une liqueur visqueuse précipitable par l'eau. Le produit ainsi obtenu gonfle par l'action de l'éther acétique et devient gélatineux sans se dissoudre. L'éther alcoolisé est sans action.
1,472	"	139,8 140,0	
1,469	$AzO^5 + 2.50\,HO$	139,7	
1,463	"	128,6	Le produit nitré est extrêmement friable et recueilli sous forme de pâte. L'éther acétique comme l'éther alcoolisé est sans action sur lui.
1,460	$AzO^5 + 2.76\,HO$	122,7	
1,455	"	115,9	
1,450	$AzO^5 + 3,08\,HO$	108,9	
1,442	"	"	Résidu de plus en plus faible, noircissant fortement par l'action d'une dissolution d'iode. Nitrification insignifiante.
1,430	"	"	

Le nombre de centimètres cubes, indiqué dans la 3e colonne, répond pour chaque degré de concentration de l'acide à la nitrification maximum.

Détermination du maximum de nitrification. — Ce maximum est déterminé, dans chaque cas, par l'analyse d'échantillons ayant subi des temps de trempage croissants. La limite est, d'ailleurs, très nettement indiquée par l'emploi d'une dissolution d'iode dans l'iodure de potassium, qui donne une coloration noire ou verdâtre aux produits nitrés renfermant des traces de coton non attaqué. On constate qu'à partir du moment où la coloration cesse de se produire la prolongation du trempage n'augmente plus le degré de nitrification.

Ainsi l'échantillon trempé dans l'acide de densité 1,488 donne au bout de 24^h de trempage 161^{cc}, et se colore par l'iode. Au bout de 70^h il donne $165^{cc},7$ sans coloration.

D'autre part, l'échantillon trempé dans l'acide de densité égale à 1,490 cesse de noircir par l'iode après un trempage de 24^h et donne $183^{cc},7$. Au bout de 128^h le même échantillon donne $183^{cc},8$.

Nature des réactions; vitesse des réactions. — Les durées de trempage, qui déterminent la nitrification maxima, sont très variables avec le degré de concentration de l'acide. L'action rapide pour la densité de 1,500 (2^h à 3^h au plus) se ralentit graduellement et exige 120^h environ pour la densité de 1,483. Les produits nitrés correspondants conservent sensiblement l'aspect du coton primitif. Mais, au voisinage de la densité 1,470, l'action se modifie complètement. Le coton se gonfle, se dissout presque instantanément, transformant l'acide en un collodion épais et transparent. En faisant couler cette masse sirupeuse dans l'eau agitée, on obtient de petits copeaux blancs, opaques et cassants, après dessiccation, qui ne conservent plus rien de la fibre primitive du coton. Dans ces conditions, la limite de nitrification est rapidement atteinte. L'acide de densité 1,469 donne, après 5^{min}, $134^{cc},7$, après 30^{min} $140^{cc},5$, après 20^h $139^{cc},3$.

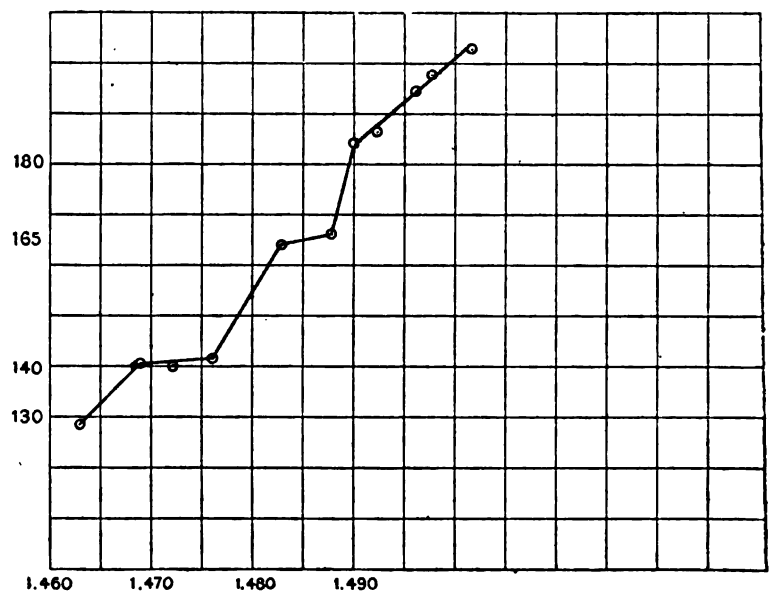
Lorsque la densité de l'acide tombe à 1,460, la dissolution cesse de se produire, l'action se ralentit beaucoup et le coton paraît inattaqué. Mais on reconnaît au lavage que la fibre est devenue très friable. L'échantillon est recueilli sous forme de pâte. Les

rendements s'abaissent en même temps bien au-dessous du chiffre théorique, ce qui indique une attaque partielle du coton.

Pour des densités inférieures à 1,450, il n'est plus possible d'isoler, quelle que soit la durée du trempage, un produit ne noircissant plus par l'iode. Le coton se transforme lentement en produits non précipitables par l'eau. Au bout de 15 jours, par exemple, on obtient, par noyage dans l'eau, un résidu insignifiant, noircissant et bleuissant d'une façon intense par l'iode et dont le degré de nitrification est très faible.

Discontinuités dans la marche de la nitrification. — Le tableau qui précède montre que, dans les conditions de trempage mentionnées plus haut, le degré de nitrification du coton croît plus ou moins graduellement avec la concentration de l'acide azotique de 108^{cc} à 128^{cc} environ; le degré de nitrification s'élève alors à 140^{cc} pour une faible variation du titre de l'acide, et il se main-

Fig. 1.



tient à ce chiffre pendant que la concentration de l'acide continue à croître d'une façon notable. Il s'élève de nouveau dans les mêmes conditions à 165^{cc}, puis à 180^{cc} environ, pour croître ensuite

graduellement jusqu'aux limites de nitrification du coton-poudre proprement dit.

Le diagramme ci-contre, obtenu en portant en abscisse la densité de l'acide nitrique et en ordonnée le taux de nitrification correspondant, rend compte de la marche de la réaction.

L'existence de ces discontinuités présentant une grande importance, au point de vue de l'établissement des formules chimiques des dérivés nitrés de la cellulose, il a paru utile de reproduire ces divers degrés de nitrification dans des conditions entièrement différentes par l'emploi des mélanges sulfonitriques.

II. — Deuxième méthode de nitrification.

Nous avons employé des mélanges sulfonitriques formés d'acide sulfurique ordinaire (densité 1,832) et d'acide azotique ordinaire (densité 1,316). Les conditions de trempage sont identiques à celles qui ont été précédemment décrites : 3^{gr} de coton en ouate dans 250^{cc} de mélange. La température a varié de 19° à 21°.

Le tableau suivant résume les résultats de nos essais; la 1^{re} colonne donne la proportion en volume de l'acide sulfurique par rapport à l'acide nitrique :

TAUX DE SO^3 en volume pour 1 volume AzO^5 (Δ = 1,316).	NOMBRE de centimètres cubes d'AzO^5 dégagé pour 1^{gr} de produit nitré, 0°, 760mm.	CARACTÈRES DES ÉCHANTILLONS.
	cc	
3,00	195,9	
2,50	190,1	
2,00	184,6	Coton non attaqué. Soluble dans l'éther acétique et dans l'éther alcoolisé.
1,70	185,5	
1,50	182,3	
1,40	164,0	Le coton est très peu attaqué (un peu filasse). Solubles dans l'éther acétique et deviennent gélatineux par l'action de l'éther alcoolisé.
1,30	166,7	
1,20	166,0	
1,10	141,2	Gélatineux par l'éther acétique. Gonfle seulement par l'action de l'éther alcoolisé.
1,00	143,5	
0,95	133,3	Produits friables.
0,90	132,7	

Ces résultats donnent lieu à diverses remarques :

Les sauts brusques du degré de nitrification signalés pour la première méthode de nitrification s'observent également pour la deuxième et sensiblement pour les mêmes teneurs en azote correspondant au dégagement de 130^{cc}, 140^{cc}, 165^{cc} et 180^{cc} de bioxyde d'azote environ.

C'est ainsi que le degré de nitrification reste le même pour les proportions d'acide sulfurique de 2, 1,70, 1,50 et s'abaisse brusquement de 18^{cc} pour la proportion de 1,40. La nitrification reste encore stationnaire pour les proportions 1,40, 1,30, 1,20 et s'abaisse de nouveau brusquement pour les proportions 1,10 et 1,00.

Pour suivre de plus près le phénomène, nous avons effectué des trempages avec des proportions d'acide intermédiaires entre celles pour lesquelles les sauts brusques avaient été observés.

Les échantillons ainsi obtenus ont donné les résultats suivants :

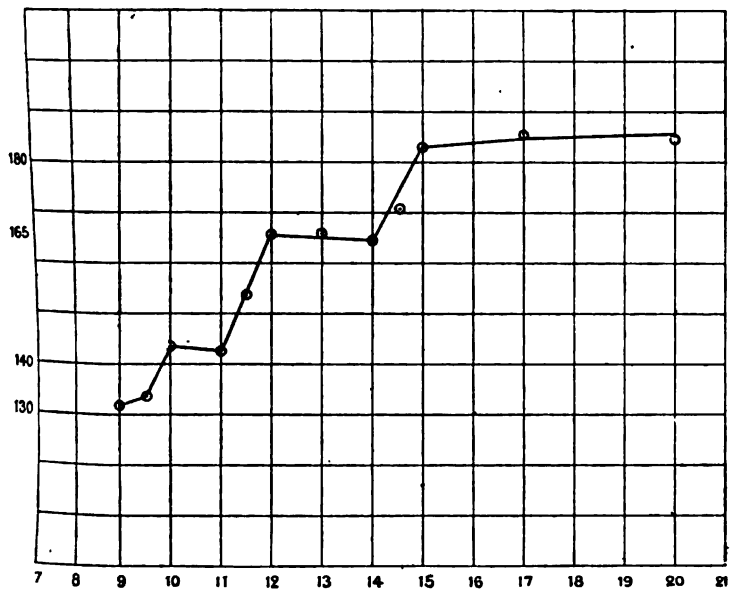
TAUX DE SO^3 en volume pour 1 volume AzO^3 (Δ=1,316).	NOMBRE de centimètres cubes d'AzO^3 dégagé par 1^{gr} de produit nitré, à 0° et 760^{mm}.	CARACTÈRES DES ÉCHANTILLONS.
1,45	171^{cc},1	Coton non attaqué. Soluble dans l'éther alcoolisé.
1,15	153^{cc},0	Coton légèrement attaqué.

Les taux de nitrification viennent s'intercaler exactement entre ceux indiqués plus haut. Ces essais confirment les expériences précédentes, en ce qu'ils montrent que l'on peut compter sur la précision des mélanges dans les conditions de nos expériences, et que les discontinuités signalées plus haut ne sauraient provenir d'erreurs fortuites.

Elles montrent, d'autre part, qu'il n'y a pas à proprement parler de sauts brusques dans la nitrification et qu'il existe une zone très restreinte de mélanges acides avec lesquels on obtient les nitrifications intermédiaires. Mais il y a néanmoins disconti-

nuité dans la marche de la réaction, et le diagramme ci-dessous, obtenu en portant en abscisses le taux d'acide sulfurique du mélange et en coordonnées les teneurs en azote, permet de se rendre compte de la marche de la réaction.

Fig. 2.



Il paraît rationnel d'admettre qu'aux périodes de nitrification constante correspondent des produits définis, et que le mélange de deux produits consécutifs n'a lieu que dans les périodes de passage.

Les propriétés des celluloses nitrées, obtenues par le 2e procédé à l'égard des dissolvants, tels que l'éther acétique et l'éther alcoolisé, sont, pour un même degré de nitrification, identiques à celles des nitrocelluloses obtenues par trempages dans l'acide azotique pur. Les propriétés des celluloses nitrées paraissent donc liées à leur composition chimique et indépendantes des procédés de préparation.

Nous avons pu établir ce point d'une façon plus rigoureuse pour les celluloses azotiques susceptibles de donner des collodions.

La zone des collodions, d'après nos expériences, est étroite. Elle comprend les celluloses dont la teneur en azote est comprise entre 180^{cc} et 190^{cc} environ. Un peu au-dessus de cette limite jusqu'à 195^{cc}, et un peu au-dessous, à 166^{cc} et même 150^{cc}, on trouve des celluloses qui se transforment encore en gelées par l'action de l'éther alcoolisé et qui filtrent par pression à travers la toile. Mais ces substances ne donnent pas les collodions fluides et limpides, utilisés par l'industrie, et la dessiccation des collodions de nitrification faible donne une membrane opaque et cassante.

Or toutes les celluloses nitrées susceptibles de donner des collodions de provenances les plus diverses, qu'il nous a été donné d'analyser, sont venues, par leur composition, se ranger dans la zone indiquée par nos expériences. C'est ce qui ressort du tableau suivant :

	cc
Coton à collodion, fabrication Rousseau	183,2
» » Billault-Billaudot	183,8
Coton à haute température Rousseau. 1er lot	184,0
» 2^{e} lot	189,0
Coton-poudre suédois destiné à la fabrication de la dynamite gélatinée (collodion un peu gélatineux)	193,0
Coton soluble préparé à Vonges d'après les indications de l'aide-mémoire de la marine	185,4

III. — Limite supérieure du degré de nitrification.

La limite supérieure du degré de nitrification ne ressort pas des tableaux précédents, qui ne comprennent pas de résultats relatifs à une densité de l'acide nitrique supérieure à 1,502. Les densités plus fortes s'obtiennent difficilement et, d'ailleurs, nos premiers essais sur un acide marquant 1,516, à une température de 15°, ont donné lieu à une attaque très sensible du coton. Il est probable que les trempages dans des acides aussi concentrés ne donneraient de bons résultats qu'à des températures plus basses, mais la limite supérieure de nitrification du coton-poudre peut être obtenue indirectement par l'emploi de mélanges sulfonitriques. Ces mélanges, usités pour la préparation du coton-poudre destiné aux usages militaires, donnent des produits dégageant 208^{cc} à 212^{cc} de bioxyde d'azote par gramme.

En opérant avec des soins particuliers, nous avons pu, à la température de 11°, dépasser un peu ces nombres et atteindre 215^{cc}. Cette limite reste très exactement la même, quelle que soit la proportion des acides sulfurique et nitrique employés, alors même qu'on substitue à l'acide sulfurique monohydraté l'acide de Nordhausen.

L'influence d'un grand excès d'acide sulfurique s'exerce presque exclusivement sur la vitesse de la réaction, qui se trouve considérablement ralentie.

IV. — Celluloses incomplètement nitrifiées.

Les résultats qui précèdent concernent les celluloses nitrifiées au maximum et la réaction de l'iode, indiquée plus haut, permet de les considérer comme des corps homogènes; mais il est possible, en arrêtant la réaction au bout d'un temps convenable, d'obtenir une infinité de celluloses de même dosage et de propriétés variables, constituées par le mélange des diverses celluloses nitrées et de coton non attaqué.

Parmi ces produits, nous avons étudié spécialement ceux qui sont fournis par les mélanges sulfonitriques. En augmentant la proportion d'acide sulfurique du mélange, on peut, en effet, ralentir la réaction, de façon à obtenir, pour une durée donnée de trempage, soit 15^{min}, tel degré de nitrification moyenne que l'on veut.

Le tableau suivant donne la composition d'échantillons soumis, pendant des temps variables, à l'action de divers mélanges acides :

COMPOSITION DES MÉLANGES.		VOLUME DE BIOXYDE D'AZOTE DÉGAGÉ par gramme.	
AzO^5,HO.	SO^3,HO.	Après 15 minutes.	Après 3 heures.
1 volume.	3 volumes.	194,6	212,4
1 volume.	3 $\frac{1}{2}$ volumes.	182,0	//
1 volume.	4 volumes.	150,8	200,7
1 volume.	5 volumes.	123,4 126,8	// //

Tous les échantillons qui n'ont subi que 15^{min} de trempage

noircissent fortement ou faiblement par l'iode, ce qui indique la présence de quantités variables de coton non attaqué; la 2e colonne du tableau semble indiquer que le surdosage en acide sulfurique n'agit que sur la vitesse de la réaction et que les produits tendent vers la même limite de nitrification.

On peut vérifier de plus que, dès le début de la réaction, ce sont les produits de nitrification maxima qui se forment et que les matières obtenues par trempage rapide dans les acides concentrés sont de simples mélanges de coton non attaqué et des produits les plus nitrifiés.

Ainsi, l'échantillon qui dégage 126cc,8, épuisé par l'éther acétique, perd 59,44 pour 100 de son poids, et le résidu présente tous les caractères du coton à peu près pur : combustion, coloration par l'iode (coloration noire très faible en présence des sels de fer au minimum et de l'acide chlorhydrique). Il n'y a donc que 60 pour 100 environ de coton nitrifié dans cet échantillon, et si l'on rapporte le volume brut de bioxyde d'azote observé, 126cc,8, à la matière nitrifiée, on obtient 214cc,7 : c'est-à-dire les nombres que l'on observe lorsqu'on laisse la réaction se poursuivre.

Ce mode de trempage conserve intacte la fibre du coton, ce qui peut être important au point de vue de la fabrication des poudres de chasse pyroxylées; il donne lieu à un mélange naturel et absolument intime de coton-poudre et de coton ordinaire. De plus, la matière nitrifiée de ce mélange ne différant pas de celle qui constitue le coton-poudre ordinaire, on peut espérer que ses conditions de stabilité sont identiques.

V. — Résumé et conclusions.

Composition et formule des celluloses nitrées. — Le premier degré de nitrification *complète* que les réactifs signalés plus haut permettent de mettre en évidence correspond au dégagement de 108cc de bioxyde d'azote par gramme environ. Cette réaction se produit avec l'acide azotique pur à 3éq d'eau. Elle est lente et ne donne qu'un rendement très faible, parce que l'attaque du coton, sous l'influence hydratante des acides, est alors le phénomène principal.

La concentration des acides augmentant, le taux de nitrification

paraît s'élever progressivement à 128cc. C'est du moins ce qu'indiqueraient les teneurs en azote des échantillons 12 et 13 de la première série.

Il convient toutefois de faire quelques réserves à ce sujet, parce que, ces produits étant insolubles dans les dissolvants, la réaction de l'iode reste le seul indice de la nitrification complète et qu'il est à craindre que quelques traces de produits, incomplètement nitrifiés, n'abaissent le taux de nitrification moyenne.

A partir de 128cc, le taux de nitrification s'élève, par sauts brusques, à 140cc, puis à 165cc et enfin à 180cc environ. Puis, la concentration des acides augmentant, le taux de nitrification s'élève progressivement par degrés insensibles jusqu'aux limites correspondant au coton-poudre de guerre, qui dégage 215cc. Dans cette dernière période, bien qu'il n'y ait pas de saut brusque dans le taux de nitrification, on peut signaler un point de passage très net vers 190cc et 195cc, correspondant à la limite de la zone des collodions.

Pour rendre compte de ces divers changements par la production de produits nitrés, répondant à des formules entières, il est nécessaire de quadrupler l'équivalent de la cellulose. Les celluloses nitriques, auxquelles conduit cette formule, répondent aux dégagements théoriques de bioxyde d'azote, par gramme de matière, indiqués dans le tableau suivant, que nous rapprochons des taux de nitrification limites observés et de ceux auxquels correspondent soit les discontinuités dont nous avons parlé plus haut, soit un changement dans les propriétés physiques :

			Théorie.	Expérience.
			cc	cc
$C^{48}H^{29}(AzO^4)^{11}O^{40}$...	Cellulose endécanitrique.	Poudre-coton.	214	215
$C^{48}H^{30}(AzO^4)^{10}O^{40}$...	Cellulose décanitrique...		203	»
$C^{48}H^{31}(AzO^4)^9O^{40}$..	Cellulose ennéanitrique..	Collodions....	190	192
$C^{48}H^{32}(AzO^4)^8O^{40}$...	Cellulose octonitrique...		178	182
$C^{48}H^{33}(AzO^4)^7O^{40}$...	Cellulose heptanitrique..	Cotons friables.	162	164
$C^{48}H^{34}(AzO^4)^6O^{40}$...	Cellulose hexanitrique..		146	143
$C^{48}H^{35}(AzO^4)^5O^{40}$...	Cellulose pentanitrique..		128	132
$C^{48}H^{36}(AzO^4)^4O^{40}$...	Cellulose tétranitrique.....		108	109

On voit que ces formules rendent convenablement compte de la production des limites de nitrification et de toutes les particularités présentées par la réaction.

L'approximation de la vérification est, toutefois, inférieure à la

précision des dosages d'azote, qui atteint au minimum $\frac{1}{100}$; les divergences paraissent pouvoir être attribuées à un certain mélange à dose sans doute très faible des produits de nitrification successives.

Propriétés des celluloses nitrées. — Les propriétés explosives des celluloses nitrées sont en rapport direct avec le taux de nitrification. A mesure que le taux de nitrification diminue, la vivacité de la combustion à l'air libre décroît et la production d'un résidu charbonneux s'accentue : on peut ainsi classer, à première vue, une cellulose nitrée dans l'un des 3 groupes : coton-poudre, collodion ou cotons friables.

La mesure des pressions, développées en vase clos par ces divers produits, montre que la force diminue de même rapidement avec le taux de nitrification. Ainsi un coton à collodion, dégageant 184^{cc}, donne des pressions inférieures de $\frac{1}{5}$ environ aux pressions fournies par le coton du Moulin-Blanc, donnant 211^{cc}. Le dosage d'azote constitue donc une véritable mesure des qualités explosives du produit.

On peut signaler, enfin, la stabilité décroissante avec le taux de nitrification des celluloses nitrées, vis-à-vis des réactifs, tels que l'acide chlorhydrique et les sels de fer au minimum. Pour les produits peu nitrifiés, la réaction commence à froid; elle exige un chauffage de quelques instants pour les produits de nitrification moyenne; mais l'attaque ne commence qu'après une ébullition soutenue, pour les celluloses donnant plus de 200^{cc} de bioxyde d'azote par gramme. Ces produits semblent donc acquérir, en même temps que le maximum de puissance, le maximum de stabilité.

Paris, 18 septembre 1883.

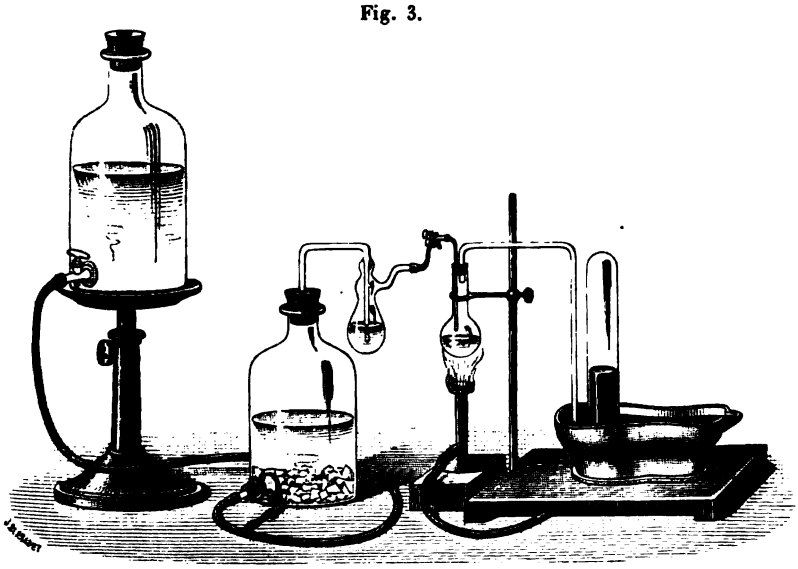
NOTE

SUR LA DÉTERMINATION DU TAUX D'AZOTE PAR LE PROCÉDÉ SCHLOESING.

Ce procédé s'applique à tous les explosifs du genre éther (cellulose azotique, nitroglycérine, nitromannite).

L'appareil se compose essentiellement : d'un appareil producteur d'acide carbonique à flacons conjugués (dont la figure fait suffisamment comprendre la disposition) communiquant par un tube de caoutchouc, muni d'une

Fig. 3.



pince, avec un ballon de 150^{cc} fermé par un bouchon de caoutchouc à 2 trous. Ce bouchon est traversé par 2 tubes : l'un sert à introduire le courant d'acide carbonique et descend jusqu'au niveau du liquide dans le ballon, l'autre est un tube de dégagement plongeant dans une cuve à mercure.

On pèse environ 25^{gr} de sulfate de protoxyde de fer pur qu'on broie dans un mortier et qu'on introduit dans le ballon.

On pèse, d'autre part, 700^{mgr} à 800^{mgr} de l'explosif dans une capsule de porcelaine; on l'imbibe avec soin d'acide chlorhydrique pur et on le fait tomber dans le ballon. On achève de laver la capsule, l'agitateur et le col du ballon avec 70^{cc} à 80^{cc} d'acide chlorhydrique.

Après avoir mélangé le tout par agitation et mis en place le bouchon muni de ses tubes, on fait passer un courant d'acide carbonique. Lorsque le gaz est absorbable complètement par la potasse, on dispose au-dessus du tube de dégagement une cloche de 250cc, renfermant 20cc à 25cc d'une dissolution de potasse, et l'on chauffe doucement en remuant de temps en temps le ballon. Dans le cas du coton-poudre, l'attaque ne se produit qu'à l'ébullition : le liquide devient d'un noir intense et le dégagement de bioxyde d'azote se produit rapidement : au bout de 10min environ il est terminé et le liquide du ballon, privé par l'ébullition du bioxyde d'azote, prend la teinte rouge des sels de fer au maximum. On balaye alors les traces du gaz qui peuvent rester dans le ballon par un courant d'acide carbonique et l'opération est terminée.

La distillation d'acide chlorhydrique est assez considérable; aussi doit-on régénérer la dissolutiou de potasse en faisant passer, au cours de l'opération, dans la cloche des bâtons de potasse en cylindre préalablement humectés.

La présence d'une dissolution de potasse s'oppose à l'évaluation exacte du volume du gaz, parce que la correction de pression due à la tension de la vapeur d'eau est incertaine.

On transporte alors la cloche sur une terrine pleine d'eau et l'on fait écouler le mercure : la dissolution de potasse s'écoule en même temps à cause de sa densité, et le gaz se trouve bientôt au contact d'eau pure.

Dans le cas où l'on applique le procédé à l'analyse de la nitroglycérine et des dynamites, l'opération doit être conduite lentement au début pour éviter la distillation de la nitroglycérine.

Le degré d'approximation d'une opération est au minimum de $\frac{1}{100}$.

L'exactitude de la méthode résulte des vérifications suivantes faites au cours des essais :

1° La réaction observée est bien la réaction théorique. On a vérifié, en effet, que le gaz obtenu avec les celluloses nitrées les plus diverses est totalement absorbable par le sulfate de protoxyde de fer et, par suite, exclusivement composé de bioxyde d'azote.

2° L'analyse d'un échantillon de nitromannite, purifiée par cristallisation dans l'alcool, a donné, par ce procédé, à moins de $\frac{1}{100}$, le taux d'azote théorique.

3° L'analyse du coton-poudre de guerre, qui donne un dégagement de 210cc à 212cc, conduit à un taux d'azote identique à celui qu'on obtient par l'analyse organique ordinaire.

4° L'écart moyen des résultats, obtenus par ce procédé sur une même cellulose nitrée, a toujours été trouvé inférieur à $\frac{1}{100}$. Cette approximation est déduite de la discussion de plus de 200 analyses.

DE

L'EMPLOI DES EXPLOSIFS EN AGRICULTURE,

(DYNAMITE, COTON-POUDRE, POUDRE DE MINE)

PAR

M. COUTAGNE,

Ingénieur des poudres et salpêtres.

Rapport sur les travaux exécutés, en novembre et décembre 1882, chez M^me^ la duchesse de Fitz-James, dans le domaine de Saint-Antonin, près d'Aix, en Provence.

Le domaine de Saint-Antonin, qui comprend à peu de chose près tout le territoire de la commune de même nom, s'étend au midi, et en dessous de l'abrupt de la montagne de Sainte-Victoire, sur cet ensemble de collines, de plateaux et de vallons qui constitue le massif du Cengle. Sur une superficie totale de 1700^ha^ environ, 250^ha^ tout au plus sont cultivés; le reste est formé de rochers, bois, broussailles, ou terrains autrefois cultivés, mais abandonnés maintenant. Parmi ces bois ou terrains incultes, près de 400^ha^ seraient susceptibles de former d'excellentes terres à vigne, si de nombreux rochers, épars çà et là, ne s'opposaient complètement à tout travail à la charrue. Dans ces conditions, M^me^ la duchesse de Fitz-James eut l'idée de tenter la mise en valeur de ces terrains en se servant de la dynamite pour briser ces rochers, et exprima, auprès de M. le ministre de la guerre, le désir d'être renseignée sur le mode d'emploi et le mode d'action de cet explosif, et sur le plus ou moins de difficultés que pourraient présenter ces travaux. Je fus invité à me rendre à Saint-Antonin, et à soumettre, après examen, les propositions que cette

affaire me paraîtrait comporter. A la suite de cet examen et conformément à mes propositions, il fut décidé qu'en raison de l'intérêt que devaient présenter ces travaux, le département de la guerre s'y associerait dans une certaine mesure et profiterait de l'occasion pour entreprendre une série d'expériences comparatives entre la dynamite, le coton-poudre et la poudre de mine. Le présent rapport est l'exposé de ces travaux, le compte rendu de ces expériences.

---

§ I.

ORGANISATION DES TRAVAUX.

Les opérations de sautage de roches ont commencé le 20 novembre 1882 et ont duré 4 semaines. Environ 150 journées de manœuvres et de mineurs avaient été consacrées, pendant les 2 mois précédents, à rechercher et dégager les rochers cachés dans le sol, et à préparer des trous de mine. Le travail était organisé de la façon suivante : 1 brigadier poudrier, habitué au maniement des explosifs, préparait les charges, les amorçait, disposait le bourrage, et allumait; il tenait également le registre des opérations, et dirigeait en quelque sorte les travaux, en l'absence de l'ingénieur. Il était secondé par un ouvrier de la localité, déjà au courant de l'emploi de la poudre de mine, connaissant bien la disposition des lieux et l'emplacement des divers rochers à détruire. Enfin, 5 manœuvres, armés de pics, pinces, masses, pioches, etc., étaient occupés, soit à chercher et à découvrir les rochers, qui auraient échappé aux recherches antérieures, soit, après explosion, à déblayer les débris, afin de juger si l'application d'une nouvelle charge était encore nécessaire au même point, et à débiter à la masse ceux de ces débris qui étaient d'un volume trop considérable pour être commodément déplacés. En général, on allumait plusieurs charges à la fois, 4, 5, 6 ou 7, afin de déranger le moins possible ces manœuvres, qui, à chaque série d'explosions, étaient obligés de quitter leur travail et de s'éloigner un peu, à l'abri des projections. Vu la brièveté des jours, à ce moment de l'hiver, et l'éloignement des chantiers qui se trouvaient

en moyenne à 30^{min} de marche du château, la durée du travail effectif n'était guère que de 8^{h} par jour, de 7^{h} à 11^{h} le matin, et de 1^{h} à 5^{h} le soir.

Les rochers à briser étaient des calcaires plus ou moins siliceux, passant même au silex pur, et appartenant à l'une des couches les plus récentes de la vaste formation fluvio-lacustre contemporaine de la craie supérieure du nord de la France, qui termine en Provence la série des terrains secondaires. M. L. Collot a donné, dans son étude géologique des environs d'Aix (1), une coupe nord-sud passant par Saint-Antonin et le sommet du Cengle, où est figurée, sous le n° 10, et mentionnée sous le titre : « calcaire gris avec silex blancs et rosés, sommet du Cengle, puissance 40^{m} », l'assise calcaire en question. Tantôt les rochers qu'il s'agissait de faire disparaître étaient directement reliés à cette masse rocheuse, formant sous-sol; tantôt, au contraire, ils étaient formés simplement par des blocs détachés, et complètement entourés de terre végétale ou d'argile. Dans l'un et l'autre cas, le travail effectué consistait à *réduire en moellons d'un poids inférieur à* 80^{kg} *ou* 100^{kg} *environ toute masse rocheuse faisant saillie au-dessus ou dans l'intérieur du sol labourable, jusqu'à une profondeur de* 50^{cm}. Telle est, d'ailleurs, d'une façon générale, la formule de tout défrichement analogue à celui que nous avons effectué, ou, du moins, la formule de la première et majeure partie du travail; car il reste encore à débarrasser le terrain de ces moellons, et à les réunir en tas, sur la lisière des champs, ou au-dessus de quelques massifs rocheux trop considérables pour être détruits à peu de frais (tel est le parti qui a été adopté pour les 800^{ha} de vignobles du curieux plateau de Leucate, dans le département de l'Aude), ou bien, lorsque le sol est très en pente, à former des petits murs de soutènement successifs, qui partagent le côteau en une série de gradins (*Clausen, Clausel, Faïsso*), comme on en voit sur tous les côteaux de la Provence, du Languedoc et du Roussillon. Cette seconde partie du travail n'a pas encore été effectuée, dans les défrichements de Saint-Antonin.

(1) *Description géologique des environs d'Aix en Provence*, 1880 : p. 98, et *Pl. IV, fig.* 10.

§ II.

RÉSULTATS OBTENUS.

I. — Sommet du Cengle.

Anciennes terres à blé, en friches depuis une dizaine d'années; sol rouge noirâtre, très riche en humus, très épais; mais, çà et là, à raison de 50 environ par hectare, têtes de rochers adhérents au sous-sol et empêchant tout labour profond. Les rochers sont de deux sortes :

a. Silex compact, translucide par place, et alors de toute couleur, rose, jaune, bleuâtre, etc.; ailleurs d'un blanc laiteux, ou gris clair, translucide seulement en faible épaisseur, sur les arêtes; surface libre des rochers couverte de petites fentes, comme étonnée; au choc de la masse, cette surface fendillée se met en poussière qui amortit les coups suivants, mais, cependant, peu à peu le rocher s'émiette en petits fragments. La barre à mine est sans effet; elle produit de la poussière au point frappé, s'émousse rapidement et ne pénètre pas. Impossibilité, par suite, d'employer la poudre de mine. La dynamite, placée simplement contre le rocher, puisqu'il n'y a pas possibilité de faire de trou de mine, mais, autant que possible, dans une partie concave, dans une niche, ou une fente recouverte de terre, puis de très gros blocs de pierre (de 100^{kg} à 200^{kg} environ) formant bourrage, donne de bons résultats; l'effet produit est analogue, comme de juste, à celui d'un fort coup de masse, avec un effet de coinçage dans toutes les fentes en plus, par suite de l'action des gaz à haute pression qui s'y insinuent. En général, nous n'avons employé que des charges de 25^{gr} et 50^{gr}, et très rarement de 100^{gr}; 100^{gr} de dynamite débitaient environ $\frac{1}{5}$ de mètre cube, soit 0^{m},300 de moellons; ceux-ci, tous assez petits, n'avaient pas besoin d'être cassés de nouveau à la masse.

b. Calcaire siliceux compact, excessivement dur, blanc, très légèrement grisâtre, sans fentes. La masse ne produit presque aucun effet, si ce n'est sur les petits blocs qu'elle casse alors très nettement en deux ou trois morceaux; la barre à mine est également

sans effet, ou du moins elle s'émousse si rapidement que le forage d'un seul trou de $0^{m},40$ demanderait bien près d'une journée de mineur. La dynamite produit des effets très inégaux, suivant que la cartouche est plus ou moins bien placée et que le bourrage est plus ou moins énergique; c'est ainsi que, dans certains cas défavorables (rochers en forme de demi-sphère saillante, presque sans fente, par exemple), le résultat était considéré comme très beau, lorsque 100^{gr} de dynamite arrachaient au sous-sol $\frac{1}{10}$ de mètre cube. En moyenne 100^{gr} de dynamite débitaient environ $0^{mc},250$, qui, une fois recassés à la masse, produisaient $0^{mc},375$ de gros moellons.

Les rochers en *silex* étaient bien moins nombreux que ceux en *calcaire siliceux,* et cantonnés seulement dans un demi-hectare environ de terrain. La superficie totale de ce premier défrichement, sur le sommet du Cengle, a été de $3^{ha},50$; le travail a duré 12 jours. Les dépenses ont été les suivantes :

	fr
Recherches et dégagement des roches avant le 20 novembre : 26 journées de manœuvre à 3^{fr}	78,00
Travaux de sautage du 20 novembre au 7 décembre : 12 journées de brigadier poudrier à 5^{fr}, 12 journées de mineur à 4^{fr}, 48 journées de manœuvre à 3^{fr}	252,00
Dynamite : $18^{kg},500$ à $9^{fr},50$	175,75
Capsules : 210 à $0^{fr},09$	18,90
Cordeau Bickford, $210 \times 0^{m},50 = 150^{m}$ à $0^{fr},7$ le mètre	7,35
Travaux ultérieurs (non effectués encore) pour débarrasser le terrain des débris rocheux, et les réunir en tas, environ 60 journées de manœuvre à 3^{fr}	180,00
Total	712,00

Soit 200^{fr} en nombre rond par hectare.

II. — Coteaux exposés au midi, entre les Masques et Bayle.

Ces coteaux étaient en partie boisés jusque dans ces derniers temps; les arbres, principalement des pins d'Alep, ont été coupés, et il ne reste plus que des broussailles de chêne kermès. Le sol est fort riche en humus, et très épais; le sous-sol est argileux. Ce sont les n^{os} 8 et 9 (marne rouge, 50^{m}, et marne grise, 5^{m}) de la coupe déjà citée précédemment de M. Collot. Les calcaires n° 10 affleurent au-dessus, et constituent le sommet des collines qui

séparent les dépressions de Saint-Antonin et de Bayle. Ce sont des rochers détachés de cette puissante assise, ayant roulé plus ou moins loin sur le talus marneux, et semés çà et là à la surface du sol, qu'il s'agit de briser; ces rochers sont souvent fort gros, ils ont parfois jusqu'à 4^{mc} ou 5^{mc}. Quelques portions très restreintes de ces coteaux, environ un demi-hectare en tout, ont été défrichées autrefois, et ont donné deux ou trois récoltes de fort beaux blés; mais, depuis une dizaine d'années, ces terres ont été abandonnées à nouveau. La superficie totale de ce second défrichement a été de 12^{ha} environ (1600^{m} de long sur 75^{m} de large); les rochers y sont moins nombreux que dans le premier; environ 40 à l'hectare en moyenne, mais très inégalement répartis.

c. Calcaire tendre gris clair, très peu siliceux, à cassure irrégulière, ayant un peu l'aspect de travertin, se laisse très facilement forer à la barre à mine. La poudre noire débite chaque rocher en un petit nombre de blocs, en produisant tout autour de la charge un étoilement souvent très régulier; la dynamite, à charge 7 à 9 fois plus faible, vient à bout des mêmes blocs, mais les débite en morceaux 4 à 5 fois plus nombreux et, par suite, plus petits. En moyenne, 100^{gr} de dynamite débitent à peu près 1^{mc}, en produisant, par conséquent, environ $1^{m},500$ de moellons.

d. Poudingue quartzeux, à ciment calcaire, à petits cailloux de quartzite blanc de lait, de la grosseur d'une noisette environ, passant au grès dans quelques endroits (avec grains de quartz hyalin), ou, au contraire, au poudingue à grands éléments, analogue à la brèche de Tholonet ou de Saint-Antonin. Les effets de la dynamite sont encore inférieurs à ceux obtenus dans le calcaire tendre : 100^{gr} débitent $\frac{1}{3}$ de mètre cube de roche, soit $0^{mc},500$ de moellons. Mais ces résultats, peu satisfaisants, tiennent à la cause inverse, à la dureté et à l'excessive cohésion de cette espèce de roche; aussi le forage des trous y est-il très difficile. La poudre de mine ne produit presque aucun effet, même à des charges 9 ou 10 fois plus fortes que celles qui réussissent avec la dynamite; d'ailleurs il arrive souvent que les trous de mine ne présentent pas un volume suffisant pour contenir toute la poudre noire qui serait nécessaire.

e. Calcaire siliceux, à cassure conchoïdale, aspect de calcaire lithographique, gris clair; odeur fétide et grande sonorité. Se laisse forer à la barre à mine assez facilement, quoique moins rapidement, toutefois, que le calcaire tendre *c*; la dynamite produit de fort beaux effets; souvent, un bloc isolé, de plus de 1^{mc}, est réduit en 10 ou 12 morceaux par une seule cartouche de 25^{gr} de dynamite, ou de coton-poudre n° 1, placée au fond d'un trou de 20^{cm} ou 30^{cm}; mais, en moyenne, 100^{gr} de dynamite peuvent servir à briser 2^{mc} et produisent, par conséquent, 3^{mc} de moellons. La poudre de mine réussit également, mais ne produit pas un aussi grand nombre de débris que la dynamite ou le coton-poudre.

Cette dernière espèce de roche était la plus fréquente, avec le calcaire tendre *c*; une portion assez restreinte du défrichement, environ 2^{ha} seulement, comprenait des rochers en poudingue *d*. Le travail a duré 12 jours; les dépenses ont été les suivantes :

	fr
Recherche et dégagement des rochers, forage des trous de mine avant le 7 décembre : 52 journées de mineur à 5^{fr}...	260,00
Travaux de sautage, du 7 au 19 décembre : 12 journées de brigadier poudrier à 5^{fr}, 12 journées de mineur à 4^{fr}, 48 journées de manœuvre à 3^{fr}.....	252,00
Dynamite : 38^{kg} à $9^{fr},50$.....	361,00
Capsules : 480 à $0^{fr},09$.....	43,20
Cordeau Bickford : 240^{m} à $0^{fr},07$.....	16,80
Travaux ultérieurs (non effectués encore) pour débarrasser le terrain des débris rocheux, et les réunir en petits murs de soutènement, environ 300 journées de manœuvres à 3^{fr}.	900,00
Total.....	1833,00

Soit 150^{fr}, en nombre rond par hectare.

---

§ III.

COMPARAISON DES EXPLOSIFS.

Nous avons supposé dans ce qui précède, et en particulier dans l'évaluation des prix de revient, qu'on n'avait brûlé que de la dy-

namite. En réalité, nous avons employé, comparativement, quatre espèces d'explosifs : la dynamite n° 1 (fabriquée à Vonges), les cotons-poudre de mine n^{os} 1 et 2 (fabriqués au Moulin-Blanc) et la poudre de mine noire ordinaire (fabriquée à Saint-Chamas).

Dans les circonstances où nous avons opéré, il était impossible d'étudier, avec quelque précision, la puissance relative de chacun de ces composés; car, d'une opération à l'autre, tout variait : la forme et la nature des rochers, leur degré d'adhérence au sous-sol, la disposition des fissures qui les traversaient, le bourrage, la profondeur des trous de mine (lorsqu'il y en avait), etc. Mais, cependant, d'après l'ensemble des expériences, et en tenant compte également des résultats obtenus par MM. Roux et Sarrau, dans leurs recherches sur les charges limites de rupture de bombes en fontes (1), nous pouvons admettre les coefficients d'équivalence qui sont inscrits dans la colonne 4 du tableau suivant :

---

(1) *Expériences sur les effets de la dynamite* (*Compt. rend.*, 1873 : **76**, 1089). — *Recherches expérimentales sur les substances explosives* (*Compt. rend.*, 1874 : **79**, 757).

	PRIX de revient du kilogramme. (1).	PRIX de vente. (2).	IMPOT	EFFETS produits par un même poids de chaque explosif.	EFFETS produits par 1 fr. de chaque explosif (prix de vente). (3).	EFFETS produits par 1 fr. de chaque explosif (prix de revient). (3).	EFFETS produits par 1 fr. de chaque explosif (prix de revient). (4).
	fr	fr	p. 100				
Poudre de mine (employée seule).	0,75	2,43	22 4	1	1	3,24	1
¾ poudre de mine et ¼ dynamite (5).	1,47	4,20	186	4,5?	2,60?	7,43?	2,30?
¾ poudre de mine ou ¼ coton-poudre n° 2 (5).....	1,24	3,07	147	3?	2,37?	5,83?	1,80?
Coton-poudre n° 2..	2,70	5,00	85	6	2,92	5,39	1,66
Coton-poudre n° 1..	4,20	7,00	66	8	2,78	4,62	1,43
Dynamite n° 1.....	3,65	9,50	160	9	2,30	5,97	1,84

(1) Ces prix sont ceux de la fabrication courante en 1881 et 1882, à Saint-Chamas, Moulin-Blanc et Vonges; ils comprennent : dépenses en matières premières et enveloppes (barils, caisses, étuis à cartouche, sacs, etc.); main-d'œuvre de fabrication, encartouchage et emballage; frais généraux et intérêt à 5 pour 100 des immeubles et ustensiles.

(2) Ces prix comprennent les enveloppes, baril et sac, de 50kg, pour la poudre de mine (2fr,25 le kilogramme, plus 9fr par 50kg, pour le baril et le sac, soit 2fr,43 le kilogramme), cartouches et doubles enveloppes en bois (boîtes et caisse de 25kg) pour la dynamite et les cotons-poudre. Ces prix comprennent également le transport, depuis le lieu de production jusque dans les entrepôts des Contributions indirectes, où les explosifs sont remis aux consommateurs.

(3) Est pris pour unité l'effet produit par 0kg,411 de poudre de mine, soit la quantité correspondant à 1fr (prix de vente).

(4) Est pris pour unité l'effet produit par 1kg,333 de poudre de mine, soit la quantité correspondant à 1fr (prix de revient).

(5) Dans les travaux de défrichement de Saint-Antonin, la charge moyenne, dans ce cas-là, était d'environ 75gr de poudre de mine pour 25gr de dynamite ou de coton-poudre; c'est pour ce motif que la proportion inscrite ici est de 3 à 1.

L'examen de ce tableau permet d'énoncer les conclusions suivantes :

1° La poudre de mine ne doit jamais être employée seule;

on augmente beaucoup sa puissance en ajoutant à la charge une petite cartouche de dynamite, qui détermine une explosion de premier ordre; toutefois je ne saurais garantir l'exactitude du coefficient 4,5 que j'ai inscrit dans la seconde ligne de la colonne 4; il semble qu'il y ait une certaine irrégularité dans les effets de la poudre noire employée de la sorte; MM. Roux et Sarrau ont trouvé le coefficient 4,34 pour le rapport entre les forces brisantes des explosions de premier et de second ordre, de la poudre B; j'ai réduit ce coefficient à 3 pour tenir compte de ces irrégularités; mais il n'y a dans cette détermination aucune certitude. Il serait intéressant de savoir si la détonation (explosion du premier ordre) du coton-poudre est capable, de même que celle de la dynamite, de déterminer la détonation de la poudre noire; les expériences de Saint-Antonin n'ont pas permis d'élucider ce point, quoique, cependant, les effets produits, dans ce cas, aient semblé supérieurs à ceux de la poudre seule. Dans les expériences de ce genre il faut tenir compte du supplément d'énergie qu'apporte la cartouche-amorce, par sa détonation propre, ce qui augmente beaucoup les difficultés de l'appréciation (1).

Étant donnés les prix de vente actuels des explosifs fabriqués par l'État, et ayant à choisir entre ces explosifs, nous voyons, d'après les chiffres de la colonne 5, que le plus avantageux d'entre eux est le coton-poudre n° 2; le coton-poudre n° 1 vient en seconde ligne, mais sans présenter une grande différence avec le n° 2; les coefficients de la colonne 4 étant assez approximatifs, on peut même admettre que ces deux cotons-poudre sont sensiblement aussi avantageux l'un que l'autre, au point de vue qui nous occupe en ce moment. La dynamite ne vient qu'en cinquième

(1) Des expériences spéciales seraient nécessaires pour la détermination précise des différents coefficients caractéristiques de chaque explosif, coefficients dont la connaissance est des plus importantes, puisqu'elle seule peut guider dans le choix à faire pour chaque genre de travaux. Il conviendrait pour cela de chercher les charges limites de rupture de blocs cubiques de $\frac{1}{8}$ de mètre cube ou $\frac{1}{4}$ de mètre cube chacun, de mêmes dimensions, en pierres bien homogènes, de différentes natures, calcaire tendre, calcaire dur, granite, etc., la charge étant placée chaque fois, avec un bourrage bien uniforme, dans un trou de mine, foré au centre de chaque bloc. Ce serait le moyen de se rapprocher le plus possible des conditions ordinaires de la pratique, et ces expériences exigeraient, en somme, une dépense peu considérable, eu égard à l'importance des résultats qu'on obtiendrait.

ligne, c'est-à-dire après la poudre de mine amorcée avec la dynamite ou le coton-poudre. Ajoutons que si l'on considère les explosifs fabriqués par l'industrie privée, la dynamite reprend alors le premier rang, ou, du moins, elle passe avant les cotons-poudre de l'État. Cela est naturel, d'ailleurs, puisqu'elle est plus puissante qu'eux, les trois derniers nombres de la colonne 7 nous le montrent; et, d'un autre côté, la loi du 8 mars 1875, qui a supprimé le monopole de l'État, frappe la dynamite fabriquée par l'industrie privée d'un impôt de 2^{fr} par kilogramme, soit seulement 70 pour 100 (1) environ de la valeur, au lieu de l'impôt considérable de $5^{fr},85$, soit 160 pour 100 (2), qui frapperait la dynamite de l'État, si celle-ci était achetée. Toutefois l'avantage, pour le consommateur, n'est pas aussi grand que semblerait le faire croire de prime abord la différence entre ces deux chiffres; car les entraves législatives et administratives de toute sorte qui gênent la fabrication et le transport de la dynamite ont, en somme, monopolisé entre les mains d'un petit nombre d'industriels la fabrication de ce précieux instrument de travail.

2° La comparaison que nous venons de faire n'est relative qu'au prix de revient des travaux exécutés à l'aide des quatre explosifs en question. Mais il faut considérer également les facilités ou difficultés d'emploi de ces substances. A ce point de vue, la poudre de mine noire est bien peu avantageuse; si les trous de mine préparés depuis quelque temps sont pleins d'eau, ou s'il pleut pendant les travaux de sautage, on est obligé de prendre toutes sortes de précautions pour que la poudre ne perde pas une partie notable de sa force. Dans les roches très cohérentes, telles que le poudingue *d*, sa force explosive est par-

(1) Ce chiffre se rapporte à la dynamite à base inerte, à 75 pour 100 de nitroglycérine. L'impôt est, en somme, variable d'une dynamite à une autre, puisqu'il est indépendant de la proportion de nitroglycérine et de la composition de l'absorbant. Il en résulte que l'intérêt du consommateur est de demander au fabricant des dynamites douées, à égalité de poids, de la plus grande puissance explosible qu'il est possible d'obtenir; de là les dynamites à bases actives : dynamites gomme, dynamites gélatinées, etc.

(2) Il est juste de remarquer que le prix de vente de la dynamite de l'État comprend les frais de transport jusqu'aux entrepôts des Contributions indirectes. De ce fait, l'impôt, qui serait de 160 pour 100 à Vonges, serait un peu inférieur dans les régions éloignées de la Côte-d'Or.

fois insuffisante, et il faudrait alors faire, à l'acide, des chambres à poudre, ce qui n'est réalisable que dans les roches calcaires, et ce qui nécessite un supplément de dépenses assez notable. Pour certaines roches même, telles que les silex ou calcaires siliceux *a* et *b*, elle ne peut être employée, nous l'avons vu précédemment. Enfin il convient d'ajouter que le bourrage doit être fait avec les plus grandes précautions, si l'on veut réellement utiliser toute sa puissance.

L'emploi de la dynamite présente également bien des inconvénients dans certains cas, et précisément dans les circonstances où nous l'avons employée, c'est-à-dire en hiver. A plusieurs reprises, en effet, les cartouches de dynamite ont gelé dans la poche même des ouvriers employés aux défrichements. Loin de toute habitation et forcé, par la nature même du travail, de changer de place à chaque instant, on ne pouvait songer à faire dégeler la dynamite 3 ou 4 fois par jour; aussi a-t-elle été employée gelée, après qu'on eut sectionné les cartouches et préparé des logements pour les capsules; mais ce mode d'emploi, très dangereux s'il n'est appliqué avec les plus grandes précautions et par des ouvriers très soigneux, ne peut être généralisé dans la pratique. Remarquons que les travaux de défrichement ne peuvent guère être faits qu'en hiver, c'est-à-dire au moment où les bras des cultivateurs restent inoccupés, en sorte que cet inconvénient est inhérent, en quelque sorte, à ce genre de travail. Enfin il convient d'ajouter que la dynamite, même dégelée, est plus dangereuse à employer que le coton-poudre, en ce que les chances d'explosion sont plus nombreuses, dans le cas de négligence pendant le bourrage.

Le coton-poudre ne présente aucun des inconvénients que nous venons d'énumérer; il faut toutefois éviter de l'employer mouillé; mais, à cet égard, les précautions à prendre sont peu gênantes. En outre, le logement de la capsule étant préparé dans chaque cartouche, du moins pour le n° 1, il en résulte que l'amorçage est bien plus commode et moins dangereux qu'avec la dynamite. Quant au choix à faire entre les deux espèces de coton-poudre, il suffit de remarquer que, toutes choses égales d'ailleurs, on a toujours avantage à employer l'explosif le plus puissant; car alors on peut donner moins de profondeur au trou de mine, on n'est

pas tenu de faire un bourrage aussi parfait, les débris obtenus du premier coup par l'explosion sont plus nombreux, et, par suite, le travail à faire à la masse se trouve diminué, etc.

En définitive, soit au point de vue de l'économie, soit au point de vue de la commodité d'emploi, on devra préférer, pour les défrichements analogues à ceux de Saint-Antonin, le coton-poudre n° 1 au coton-poudre n° 2, celui-ci à la dynamite, et celle-ci à la poudre noire. Nous supposons, bien entendu, qu'on n'ait de choix à faire qu'entre les divers explosifs fabriqués par l'État.

---

§ IV.

Résumé et Conclusions.

Il existe, en Provence, des étendues de terrains considérables, autrefois cultivées en blé ou en vigne, et maintenant en friches, qui sont, comme à Saint-Antonin, parsemées de rochers s'opposant à toute espèce de labour profond. Il y a 30 ou 40 ans, les bras étaient encore nombreux aux champs, le phylloxera n'avait pas apparu, la liberté du commerce et les facilités des communications n'avaient pas encore commencé l'œuvre de la répartition naturelle et économique des cultures, et réservé aux immenses et fertiles plaines de la Russie et de l'Amérique la production des céréales, aux terrains accidentés, arides et rocailleux de la Provence, et de la majeure partie du bassin méditerranéen, la culture arbustive. Le paysan provençal pouvait alors tirer parti de ces terrains; s'il y semait du blé, son araire primitive, traînée mollement par un maigre mulet, et ne faisant que gratter, pour ainsi dire, la surface du sol, pouvait glisser sans inconvénient au-dessus ou au travers des rochers épars dans son champ; s'il y plantait de la vigne, toutes les façons étaient faites à bras, et les rochers n'avaient d'autre inconvénient, en somme, que de laisser improductive une très petite portion de la surface plantée. Maintenant il n'en est plus ainsi; les conditions économiques de l'agriculture ont bien changé. Les blés indigènes ne peuvent plus lutter avantageusement contre les blés étrangers; et quant à la vigne, la

seule culture qui soit vraiment rémunératrice en Provence (¹), la cherté croissante de la main-d'œuvre fait une obligation absolue d'adopter les plantations régulières et d'employer, pour les façons, les charrues, bineuses, scarificateurs, ou autres instruments spéciaux, traînés par les animaux.

La nécessité d'avoir un sol bien débarrassé de toute espèce de rocher s'impose donc au cultivateur désireux de reconstituer ou de créer un vignoble. Les travaux de novembre et décembre 1882, à Saint-Antonin, ont montré qu'il était possible d'effectuer ce genre de défrichement dans des conditions de prix en somme très avantageuses : de 150^{fr} à 200^{fr} par hectare, lorsque les rochers sont au nombre de 30 à 50, soit, en comptant largement, 500^{fr} au plus, pour 100 rochers à l'hectare.

Nous venons de parler, principalement, des terrains anciennement cultivés, et maintenant abandonnés, ou cultivés à perte; il va sans dire que les mêmes considérations s'appliquent aux terrains boisés, ou recouverts de broussailles, que l'on serait dans l'intention de transformer en vignobles; dans ce cas, les prix que nous venons d'indiquer ne comprennent pas, bien entendu, la totalité des frais de défrichement, mais seulement la portion de ces frais qui est relative à la destruction des rochers.

Une autre conclusion à tirer de nos essais est relative au choix de l'explosif le plus convenable pour ce genre de travail; étant donnés les prix de vente actuels des explosifs fabriqués par l'État, et ayant un choix à faire entre ces explosifs, le coton-poudre n° 1 serait le plus avantageux, le moins dangereux et le plus commode.

L'emploi des explosifs en agriculture est donc susceptible de se généraliser; mais, insistons bien sur ce point, seulement dans les conditions que nous venons d'indiquer, et qu'on peut résumer en ces mots : faire disparaître, en les réduisant en fragments

(¹) Nous ne parlons pas, bien entendu, des terrains arrosables, où toutes sortes de cultures peuvent être pratiquées. Les oliviers et les amandiers doivent aussi être comptés parmi les végétaux bien appropriés aux coteaux ou terrains rocailleux du Midi; mais il faut une vingtaine d'années, au moins, pour amener ces arbres en plein rapport, et, dans la situation critique où se trouvent en ce moment les agriculteurs de Provence, on ne saurait songer à essayer d'un tel remède.

transportables, qu'on enlève ensuite, tous les rochers qui sont disséminés çà et là au travers du terrain. Ces conditions sont loin d'être aussi exceptionnellement réalisables qu'on pourrait le croire au premier abord, et, bien certainement, en Provence, ce n'est pas moins de plusieurs milliers d'hectares qui seraient susceptibles d'être transformés de la sorte.

Saint-Chamas, février 1883.

SUR LES MOYENS DE RÉDUIRE

LES

ACCROISSEMENTS MOMENTANÉS

DE VITESSE

DANS LES

MACHINES MUNIES DE RÉGULATEURS A ACTION INDIRECTE.

APPLICATION AUX USINES A POUDRE,

PAR

M. A. BÉRARD,

Ingénieur en chef des poudres et salpêtres,

ET

M. H. LÉAUTÉ,

Répétiteur à l'École polytechnique, ingénieur des manufactures de l'état.

Les progrès de l'industrie s'accentuant de jour en jour, les travaux à exécuter deviennent de plus en plus compliqués et exigent des mécanismes à la fois plus perfectionnés et plus délicats.

Le besoin s'accroît ainsi de régler la marche des machines avec plus d'exactitude et de soin, et les appareils de régulation se multiplient.

En pratique, le problème de la régularisation du mouvement doit être envisagé à trois points de vue différents qui, selon les circonstances, les conditions à satisfaire, la nature du travail à effectuer, prennent une importance plus ou moins considérable.

On peut se proposer tout d'abord, et c'est le cas le plus général, de rendre la vitesse de la machine sensiblement constante, malgré les variations qu'éprouvent la force motrice et la résistance.

Mais on a aussi à se préoccuper des efforts qui s'exercent sur les divers points de l'installation mécanique, et l'on peut chercher à les maintenir au-dessous de certaines limites, s'ils sont susceptibles de devenir dangereux.

On peut enfin vouloir assurer l'arrêt immédiat de la machine lorsqu'une résistance anormale surgit, de nature à provoquer un accident.

C'est cette question générale, ainsi définie, que nous nous proposons d'aborder dans une série de travaux, dont ce mémoire représente le point de départ, en prenant spécialement pour objet, dans les applications, l'industrie de la fabrication de la poudre.

Lorsqu'il s'agit d'explosifs, un accroissement de vitesse de la machine, même de peu de durée, est souvent susceptible d'amener un accident grave; un effort exagéré dans les parties en contact avec la matière peut avoir les mêmes conséquences, et tous les inconvénients des changements de régime se trouvent grossis et amplifiés dans une forte proportion.

L'étude du problème de la régularisation du mouvement des machines, sous le triple rapport de la constance de la vitesse, de la limitation des efforts et de la possibilité d'arrêt immédiat, acquiert, par suite, une importance toute particulière pour les poudreries.

Et cette importance est d'autant plus grande que, parmi les appareils de régulation imaginés en si grand nombre, il en est fort peu d'applicables aux usines à poudre, soit que leur fonctionnement même laisse à désirer, soit qu'ils ne remplissent pas les conditions spéciales qu'exige la manipulation d'un explosif.

Les mémoires successifs que nous publierons à ce sujet permettront de combler cette lacune.

Dans ce premier travail, nous étudierons les moyens de maintenir la vitesse aussi constante que possible dans les machines munies de régulateurs à action indirecte.

C'est le cas le plus ordinaire des moteurs hydrauliques; pour ces moteurs, en effet, la manœuvre de la vanne exige presque toujours un effort considérable que l'on ne peut plus demander à

l'appareil à boules sans lui donner des dimensions inadmissibles et que l'on est obligé, dès lors, de confier à un mécanisme spécial empruntant sa force au moteur lui-même.

Le régulateur agit ainsi, d'une manière indirecte, sur le vannage, et, celui-ci n'atteignant sa position définitive qu'après un certain nombre d'oscillations autour de cette position, il peut en résulter pour l'ensemble de la machine un état oscillatoire indéfini, connu sous le nom d'*oscillations à longues périodes* et que l'un de nous a récemment étudié (1).

Cet inconvénient, qui est grave, est d'autant plus fréquent que les constructeurs de moteurs hydrauliques établissent généralement leurs appareils de régulation d'après la seule force du moteur, sans tenir compte de la nature du travail à effectuer, des variations auxquelles il est exposé, des écarts de vitesse qu'on peut admettre ni des masses mises en mouvement.

Et comme, pour éviter ces oscillations, les constructeurs ne connaissent guère d'autre moyen que de diminuer la puissance d'action de l'appareil de régulation en ralentissant le mouvement du vannage, les industriels ne disposent, le plus souvent, que d'appareils fonctionnant mal et peu efficaces.

Aussi arrive-t-il fréquemment que ces appareils, qui ne sont point appropriés au but à atteindre, sont abandonnés peu de temps après leur installation.

Plusieurs constructeurs même, pour remédier aux inconvénients dont nous venons de parler, ont renoncé au bénéfice de la régulation mécanique et ont préféré laisser aux ouvriers chargés de la conduite des machines le soin d'en régler la vitesse.

Nous aurons donc, tout d'abord, à établir les règles exactes qui doivent présider à l'établissement des régulateurs ordinaires à action indirecte, et nous montrerons comment on peut, à l'aide de ces règles, déterminer les éléments de l'appareil de régulation à adopter dans chaque cas.

Nous indiquerons ensuite comment il convient de modifier ces appareils pour leur permettre de s'opposer avec plus d'énergie

(1) H. Léauté, *Mémoires sur les oscillations à longues périodes dans les machines actionnées par des moteurs hydrauliques et sur les moyens de prévenir ces oscillations.* (Gauthier-Villars, 1885.)

aux accroissements momentanés de vitesse qui sont généralement cause de tous les accidents et qui, dans le cas particulier de la poudre, constituent le principal danger.

Nous ferons connaître enfin quels sont les effets que l'on doit attendre de cette modification et quels sont les moyens à employer pour réaliser, dans chaque cas, le maximum d'effet utile que l'on puisse atteindre.

L'application de cette théorie à un groupe d'usines à poudre terminera le présent travail.

CHAPITRE PREMIER.

CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT D'UN APPAREIL DE RÉGULATION A ACTION INDIRECTE. — DISPOSITIF PERMETTANT DE LES RÉALISER.

1. Un appareil de régulation à action indirecte comprend deux parties distinctes :

D'une part, un mécanisme de commande du vannage ou, plus généralement, un mécanisme qui actionne l'organe d'admission et prend son mouvement sur le moteur lui-même; d'autre part, un appareil à force centrifuge chargé de déterminer, au moment opportun, l'embrayage ou le débrayage du mécanisme de commande (1).

Ce mécanisme doit d'ailleurs être susceptible d'entraîner le vannage dans un sens ou dans l'autre, c'est-à-dire d'en produire l'ouverture ou la fermeture, et c'est l'appareil à boules qui détermine le sens du mouvement.

Au point de vue du fonctionnement, le choix du système de changement de marche et la disposition propre de l'appareil à force centrifuge sont, dans une certaine mesure, indifférents, et il convient de les subordonner aux conditions locales, telles que l'emplacement dont on dispose et le mode de transmission que l'on est obligé d'employer.

Il faut cependant que l'embrayage et le débrayage du mécanisme de commande du vannage soient faciles, afin de ne pas avoir à demander à l'appareil à boules un effort trop grand, ce qui conduirait à lui donner des dimensions exagérées (2), et il est prudent de se réserver des moyens de modifier après coup, soit le degré

(1) On emploie indifféremment dans ce but des manchons à griffes, des cônes de friction et des équipages de poulies folle et fixes.

(2) A ce point de vue, le système par poulies folle et fixes est préférable au système par manchons à griffes.

d'isochronisme (1) de cet appareil, soit la vitesse relative du vannage (2).

Cette précaution est rendue nécessaire par les incertitudes que présentent toujours des calculs dans lesquels figurent des éléments imparfaitement connus.

D'un autre côté, il est rare que des installations ultérieures ou même de simples variations de travail effectué ne viennent pas modifier les conditions de marche, et il est bon de pouvoir régler le mécanisme dont on dispose sans être obligé de le changer complètement.

Ce qui importe au fonctionnement de l'appareil de régulation, c'est, d'une part, la rapidité plus ou moins grande avec laquelle se meut le vannage et, d'autre part, les écarts relatifs des vitesses pour lesquelles il se met en mouvement ou revient au repos.

Si la marche du vannage est trop lente, l'appareil est paresseux et tolère de trop grands écarts de vitesse; il ne régularise pas suffisamment. Si, au contraire, la marche est trop rapide, le vannage, une fois en mouvement, ne peut plus se fixer, la vitesse de régime ne peut pas non plus se rétablir, et il en résulte pour la machine un état d'oscillations indéfini (3).

---

(1) Le degré d'isochronisme est caractérisé ici par la différence des deux vitesses pour lesquelles l'appareil à boules détermine l'ouverture ou la fermeture de la vanne.

(2) Dans les régulateurs à action indirecte, la force nécessaire au déplacement de la vanne étant prise sur le moteur lui-même, le mouvement est transmis au vannage par un arbre qu'actionne la machine, et l'embrayage est produit par le manchon du régulateur. Le chemin parcouru par la vanne est proportionnel à celui décrit par la machine depuis le début de l'embrayage, et c'est le rapport de proportionnalité qui constitue la vitesse relative du vannage.

(3) M. Léauté a démontré, dans l'ouvrage précédemment cité, « que le seul moyen de diminuer l'amplitude des oscillations de la vitesse dans les appareils à action indirecte pendant la durée du fonctionnement du régulateur était d'accroître la puissance du mécanisme de commande, c'est-à-dire d'augmenter la vitesse relative du vannage »; mais cet accroissement de puissance a pour résultat d'exposer à des oscillations à longues périodes ou, tout au moins, à un nombre d'oscillations considérable avant que l'état de régime soit rétabli. Il en résulte que les régulateurs à action indirecte, par leur principe même, ont une action ou peu énergique, ou très lente, et que, lorsqu'on les emploie, il faut s'attendre, selon leurs proportions, soit à une régularité relativement grande, mais avec une très grande lenteur de rétablissement pour la vitesse de régime, soit à une action

Quant aux écarts relatifs des quatre vitesses de mise en train ou d'arrêt du mécanisme de commande (¹), ils dépendent de deux éléments : du degré d'isochronisme et de la puissance de l'appareil à boules.

Si l'appareil à boules s'éloigne trop de l'isochronisme, il n'entre en action que pour des vitesses très différentes; il est paresseux et ne donne pas une constance suffisante à la vitesse de régime.

Si, au contraire, il se rapproche trop de l'isochronisme, il devient sensible aux plus petites variations de vitesse, il met constamment en jeu le mécanisme de commande du vannage et il n'y a plus d'état stable pour la machine.

D'autre part, si l'appareil à boules n'a pas une puissance suffisante, il est lent à produire l'embrayage du mécanisme de commande et lent encore à opérer le débrayage; il prolonge outre mesure l'ouverture ou la fermeture du vannage et il engendre encore des oscillations à longues périodes.

2. En résumé, le fonctionnement d'un régulateur à action indirecte dépend de trois éléments : le degré d'isochronisme, la vitesse relative du vannage et la puissance de l'appareil à boules.

Le degré d'isochronisme (caractérisé par l'écart des deux vitesses, à partir desquelles l'appareil à boules mettrait en mouve-

---

rapide pour ramener le régime après une perturbation, mais avec des écarts notables de la vitesse.

» En un mot, les oscillations de la vitesse peuvent être faibles et durer longtemps ou être fortes et s'éteindre rapidement. »

(¹) Lorsque l'on considère un appareil de régulation à action indirecte et que l'on y suppose tous les frottements nuls, l'embrayage et le débrayage de fermeture de la vanne se produisent pour une même vitesse V, l'embrayage et le débrayage d'ouverture ont également lieu pour une même vitesse v.

L'écart entre ces vitesses théoriques de fermeture et d'ouverture mesure le degré d'isochronisme de l'appareil.

Mais, si l'on tient compte du frottement, l'embrayage de fermeture ne se produit réellement que pour une vitesse V_1 plus grande que V et le débrayage pour une vitesse V_2 inférieure à V.

La différence $V_1 - V_2$ mesure l'intensité des résistances passives à la fermeture, et l'on a une différence analogue $v_1 - v_2$ pour l'ouverture.

En général, $V_1 - V_2$ peut être supposé égal a $v_1 - v_2$.

Nous entendons par écarts relatifs des quatre vitesses de mise en train et d'arrêt du mécanisme de commande les rapports de $V - v$, $V_1 - V_2$, $v_1 - v_2$ à la vitesse moyenne de régime $\frac{V+v}{2}$.

ment le mécanisme de commande si toutes les résistances passives disparaissaient) donne la mesure de la zone théorique où peut se mouvoir la vitesse de régime sans mettre en jeu l'appareil de régulation.

La vitesse relative du vannage correspond, pour une perturbation donnée, à la grandeur de l'écart maximum de vitesse qui se produira en dehors de la zone, dont il vient d'être question, pendant le fonctionnement du mécanisme de commande (1).

Enfin, la puissance de l'appareil à boules (2), qui détermine le degré de précision avec lequel agira le régulateur au moment opportun, fixe le mode exact de fonctionnement de l'ensemble de l'appareil (3).

Ces trois éléments ne sont, d'ailleurs, pas indépendants; ils sont liés par une relation nécessaire qui doit être satisfaite pour que l'appareil de régulation remplisse le rôle qu'on lui demande et ne devienne pas lui-même, en donnant naissance à des oscillations à longues périodes, une nouvelle cause de perturbations (4).

---

(1) Si l'on suppose, pour fixer les idées, que, la résistance ayant diminué, le régulateur ferme la vanne, l'accroissement maximum de vitesse qui se produit pendant cette première période de fermeture est évidemment d'autant plus grand que le mouvement de la vanne est moins rapide, et il est clair que cet accroissement maximum de vitesse est, toutes choses égales d'ailleurs, uniquement fonction de la vitesse relative du vannage.

(2) La puissance de l'appareil à boules est mesurée par l'effort que cet appareil exerce, pour une variation donnée de sa vitesse de rotation, contre un obstacle qui s'oppose au déplacement du manchon.

(3) Suivant la puissance de l'appareil à boules, il s'écoule un temps plus ou moins considérable entre l'instant où le mécanisme de commande est sollicité à entrer en jeu et celui où il commence à actionner le vannage. Il en est de même au moment où le mécanisme doit cesser son action, et ces retards jouent un rôle capital dans le fonctionnement de l'appareil. (H. Léauté, *loc. cit.*, chap. V, § 3.)

(4) Suivant les grandeurs attribuées à ces éléments, la vitesse de la machine, après une perturbation, peut ou converger vers une limite fixe ou éprouver des oscillations indéfinies.

Dans le premier cas, un nouvel état permanent succède, au bout d'un certain temps, à la perturbation et l'état de régime se rétablit.

Dans le second cas, l'amplitude des oscillations de la vitesse qui ne s'éteignent plus peut, suivant la grandeur de la perturbation initiale, aller en croissant ou en décroissant; mais elle tend vers une limite qui correspond au seul état stable compatible avec le fonctionnement de l'appareil de régulation.

Pour que cet appareil puisse ramener l'état de régime, il faut que ses éléments

C'est dans leur fixation que consiste le problème de l'établissement d'un appareil de ce genre.

3. *Détermination du degré d'isochronisme.* — Le degré d'isochronisme se détermine par la régularité qu'exige le travail à effectuer; mais il doit, avant tout, être en rapport avec l'énergie du volant : il est essentiel, en effet, que le régulateur n'empiète jamais sur les fonctions de ce dernier appareil et ne soit pas sensible aux variations accidentelles ou périodiques de vitesse que comporte la marche normale et qui sont tolérées par le volant (1).

Si l'on désigne par $\mathfrak{N}$ la vitesse moyenne de régime de la machine (2) et par n l'écart des vitesses extrêmes entre lesquelles le régulateur doit maintenir la vitesse de régime, de telle sorte que cette vitesse reste comprise entre $\mathfrak{N} - \frac{n}{2}$ et $\mathfrak{N} + \frac{n}{2}$, il conviendra, d'après ce qui précède, que la fraction $\frac{n}{\mathfrak{N}}$ soit toujours supérieure à la fraction analogue qui a servi de base à l'établissement du volant ou qui mesure l'amplitude des inégalités périodiques de la vitesse.

Cette dernière fraction a, comme l'on sait, les valeurs suivantes :

$\frac{1}{20}$ à $\frac{1}{30}$ pour les machines n'exigeant pas une très grande régularité de mouvement;

---

vérifient une certaine inégalité qui établit ainsi la ligne de démarcation à partir de laquelle l'action du régulateur devient nuisible, et qui indique le maximum d'effet utile que l'on peut atteindre dans chaque cas. (H. Léauté, *loc. cit.*, chap. I, § 3 et 4, et chap. V, § 4 et suivants.)

(1) Si le régulateur est sensible à ces variations de vitesse, c'est-à-dire si le mécanisme de commande entre en jeu sous leur seule influence, la vanne ne peut plus rester en repos, même en travail normal et en dehors de toute perturbation proprement dite, et il n'y a plus d'état de régime possible pour la machine.

On a recours habituellement, pour éteindre les oscillations des boules, à l'emploi du frein à huile, comme cela se fait pour les machines Corliss.

D'une manière générale, il est important de prendre la commande de l'appareil à boules sur un point de la transmission où les variations de vitesse dont il vient d'être question ne soient pas trop sensibles.

(2) Nous supposerons dans ce travail que la vitesse est mesurée par le nombre de tours par minute que décrit l'un des arbres principaux de la machine pris comme repère.

$\frac{1}{30}$ à $\frac{1}{40}$ pour les machines qui demandent une régularité assez grande.

Dans les cas ordinaires de la pratique, on pourra prendre, comme limite inférieure de $\frac{n}{\mathcal{H}}$,

$\frac{1}{10}$ à $\frac{1}{15}$ pour une régularité moyenne;

$\frac{1}{15}$ à $\frac{1}{20}$ pour une grande régularité.

D'une manière générale, on admettra pour la valeur minima de $\frac{n}{\mathcal{H}}$ environ le double des variations totales de vitesse qui se produisent en marche normale.

4. *Détermination de la vitesse relative du vannage.* — La vitesse relative du vannage se détermine par la considération des écarts momentanés de vitesse que l'on peut tolérer en dehors de la zone de régime.

Il faut donc tout d'abord rechercher, par une discussion préalable, quelles sont les perturbations contre lesquelles le régulateur aura à réagir et en fixer approximativement l'importance relative.

Ces perturbations consistent habituellement dans l'introduction ou la suppression brusque de certaines résistances, et leur importance relative est mesurée par la fraction de la résistance totale que représentent ces résistances.

Si, pour fixer les idées, on considère un moteur hydraulique commandant une série de machines-outils qui consomment en moyenne une force de 40 chevaux et si l'on suppose que, par suite des embrayages ou des débrayages qui se produisent en cours de travail, l'effort demandé puisse éprouver des variations brusques de 8 chevaux, l'importance relative x de ces perturbations sera représentée en moyenne par la fraction $\frac{8}{40}$: elle sera ainsi égale à $\frac{1}{5}$ (1).

(1) Ce mode d'évaluation de l'importance relative d'une perturbation suppose cette perturbation faible. Si elle avait une grande importance, il faudrait mesurer sa valeur relative en la comparant, non plus à l'état moyen, mais à l'état de régime qui doit succéder à la perturbation.

Ainsi, en représentant par $\mathcal{R}_0$ la résistance surmontée par la machine avant la perturbation et par $\mathcal{R}$ la résistance à vaincre ensuite, la quantité que nous désignons plus loin par x a pour valeur $\frac{\mathcal{R}-\mathcal{R}_0}{\mathcal{R}}$.

Les perturbations à craindre étant une fois connues, on fixera, d'après la nature du travail à effectuer, la variation relative de vitesse que l'on peut tolérer, sans inconvénient pour la machine, pendant la marche de l'appareil de régulation.

On aura, d'ailleurs, à tenir compte dans cette discussion, non seulement de la grandeur des perturbations à craindre, mais encore de leur degré de fréquence.

5. Ces éléments, grandeur des perturbations et variation de vitesse correspondante, une fois établis, la vitesse relative ε sera donnée par la relation (1)

$$z = \frac{\frac{\mathfrak{A}}{4\Lambda\varepsilon}x^2}{1+\frac{\mathfrak{A}}{4\Lambda\varepsilon}x^2}, \tag{1}$$

dont nous allons indiquer la signification.

Dans cette formule, x représente la grandeur relative des perturbations en vue et z la plus grande variation relative de vitesse que l'on admet en dehors de la zone de régime; z est donc, comme x, un simple rapport : c'est une certaine fonction de la vitesse de régime.

Ainsi, par exemple, si l'on considère une machine faisant en moyenne 200 tours par minute, dont la vitesse de régime est comprise entre 196 tours et 204 tours; si l'on suppose de plus que la vitesse peut, sans inconvénient, s'élever, pendant les perturbations dont il a été question, jusqu'à 230 tours, z aura pour valeur

$$\frac{230-204}{200}, \quad \text{soit} \quad \frac{13}{100}.$$

$\mathfrak{A}$ est l'ouverture de vanne correspondant à l'état de régime, ouverture mesurée d'ailleurs avec telle unité que l'on voudra.

Quant à la quantité Λ, c'est une constante spécifique qui caractérise le système mécanique que l'on considère, c'est-à-dire l'ensemble du moteur et des outils qu'il actionne.

On peut en déterminer la valeur par l'expérience ou par le calcul.

---

(1) H. Léauté, *Marche rationnelle à suivre en pratique pour l'établissement d'un appareil de régulation à action indirecte.* (*Compt. rend.*, 1er mars 1886.)

Au point de vue expérimental, c'est le nombre de tours que décrit la machine, en vertu de la seule inertie, lorsque, étant en marche normale, on supprime brusquement l'arrivée du fluide moteur sans modifier les résistances (1).

Le nombre de tours dont il s'agit est celui de l'arbre de couche sur lequel on mesure la vitesse de la machine.

Mais, dans la pratique, l'arrivée du fluide moteur ne peut jamais être supprimée instantanément, et il est nécessaire de tenir compte du temps qu'exige la fermeture de la vanne.

Si l'on désigne par λ_1 le nombre de tours décrits par la machine pendant la durée de cette fermeture, et par λ_2 le nombre de tours décrits ensuite jusqu'à l'arrêt complet, on a

$$A = A_0(\lambda_1 + \lambda_2),$$

où le coefficient A_0, variable avec les grandeurs relatives de λ_1 et λ_2, a les valeurs suivantes (2) :

$\frac{\lambda_1}{\lambda_1+\lambda_2}$.	A_0.	$\frac{\lambda_1}{\lambda_1+\lambda_2}$.	A_0.
0	1,	0,60	0,68
0,10	0,95	0,70	0,62
0,20	0,90	0,80	0,56
0,30	0,85	0,90	0,48
0,40	0,79	0,95	0,43
0,50	0,73	1	0,30

Analytiquement, la constante A a pour expression

$$\frac{\frac{1}{2}\Sigma mv^2}{\mathcal{R}},$$

dans laquelle $\frac{1}{2}\Sigma mv^2$ représente la somme totale de force vive que

(1) La quantité A se rapporte comme $\mathcal{A}_0$ à l'état de régime qui doit succéder à la perturbation, c'est-à-dire à l'état de régime que l'on se propose d'établir et non à l'état de régime moyen; mais, quand les perturbations n'ont pas une grande importance, ce qui est le cas habituel, cette distinction peut être négligée.

A moins d'indications contraires, nous supposerons dans ce travail que le terme $\frac{\mathcal{A}_0}{A}$ est calculé sur l'état moyen.

(2) Voir *Appendice*, Note I.

possède l'ensemble du système mécanique considéré quand il marche à la vitesse de régime et $\mathcal{R}$ le travail résistant moyen effectué par unité de chemin parcouru. Cette quantité $\mathcal{R}$ s'exprime en kilogrammètres et avec les unités adoptées; elle représente le travail total consommé pendant que l'arbre de couche, sur lequel on mesure la vitesse de la machine, décrit un tour, et c'est une des données immédiates de la question.

Quant à la quantité $\frac{1}{2}\Sigma mv^2$, son expression montre que l'on peut toujours arriver à l'évaluer, même en dehors de toute expérience préalable, sans autres difficultés que les longueurs de calcul. Mais, dans les études d'avant-projets, il sera possible, la plupart du temps, d'obtenir une valeur de A suffisamment approchée par comparaison avec des installations analogues où l'on aura déterminé cette quantité par expérience.

6. Les diverses quantités qui fixent la valeur de ε étant ainsi définies, il reste à indiquer le sens précis de cette inconnue.

ε est le chemin parcouru par le vannage quand, le mécanisme de commande étant en prise, la machine qui l'entraîne décrit l'unité de chemin angulaire.

Dans cette évaluation, le déplacement du vannage doit être mesuré en adoptant la même unité que pour l'ouverture $\mathcal{A}$; avec les unités choisies précédemment, ε correspond à un tour.

Si l'on suppose, pour fixer les idées, que l'ouverture de la vanne ait été mesurée en millimètres et que cette vanne avance de 10^{mm} pour chaque tour de l'arbre de couche sur lequel on mesure la vitesse de la machine, ε sera égal à 10.

Les valeurs de $\frac{\mathcal{A}}{A\varepsilon}$ correspondant aux diverses valeurs de x et de z sont indiquées dans le tableau suivant, où l'on a supprimé celles qui sortent des conditions ordinaires ou peuvent conduire à des difficultés pratiques d'installation :

z.	x			
	$\frac{10}{100}$.	$\frac{15}{100}$.	$\frac{20}{100}$.	$\frac{25}{100}$.
$\frac{5}{100}$	21	9,4	5,3	"
$\frac{10}{100}$	44	20	11	7
$\frac{15}{100}$	"	31	18	11
$\frac{20}{100}$	"	"	25	16
$\frac{25}{100}$	"	"	"	21

7. *Détermination de la puissance de l'appareil à boules.* — La puissance de l'appareil à boules se détermine par l'effort qu'il a à faire pour produire successivement l'embrayage et le débrayage du mécanisme de commande.

Les résistances à vaincre ainsi sont de deux espèces : elles comprennent, d'une part, les résistances propres de l'organe d'embrayage et de débrayage et, d'autre part, les frottements qui se produisent dans l'appareil à boules lui-même.

Les premières peuvent toujours être évaluées dès que le système de transmission a été arrêté.

Les secondes sont mesurées par l'écart relatif σ des deux vitesses qui peuvent produire le déplacement des boules, dans un sens et dans l'autre, quand l'organe d'embrayage n'est pas en prise (1).

L'effort total exercé par l'appareil à boules dépend de la différence des deux vitesses qui animent la machine au moment où le mécanisme de commande entre en mouvement et au moment où il s'arrête.

En désignant par $\frac{v}{\mathfrak{V}}$ la différence relative des vitesses dont il vient d'être question, c'est-à-dire le rapport de la différence de ces vitesses à la vitesse moyenne de régime, et par K_M la somme des résistances que l'organe d'accouplement oppose successive-

(1) Cette quantité σ est la caractéristique de la sensibilité de l'appareil à boules considéré en lui-même. Les boules étant supposées en équilibre dans une quelconque de leurs positions, $\Phi\sigma$ représente la somme des efforts qu'il faut exercer sur le manchon pour vaincre les frottements qui s'opposent à leur déplacement.

ment au mouvement du manchon de l'appareil à boules pendant l'embrayage et pendant le débrayage, la puissance de l'appareil à boules sera donnée par la formule

$$\Phi \frac{v}{\mathfrak{R}} = K_M + \Phi\sigma$$

ou

$$\Phi = \frac{K_M}{\frac{v}{\mathfrak{R}} - \sigma}. \tag{2}$$

La quantité Φ représente ici, comme d'habitude, le rapport entre l'effort développé sur le manchon de l'appareil à boules par une petite variation de vitesse et cette variation de vitesse.

Φ est un certain nombre de kilogrammes.

Dans la pratique courante, σ peut être regardé comme égal à $\frac{1,5}{100}$ pour les appareils soignés, et il varie de $\frac{2}{100}$ à $\frac{4}{100}$ pour les appareils ordinaires; c'est, du reste, une constante de chaque appareil à boules.

La puissance de cet appareil sera déterminée, par conséquent, par la valeur de $\frac{v}{\mathfrak{R}}$.

Or, pour que l'appareil de régulation n'engendre pas d'oscillations à longues périodes et arrive à ramener la vitesse dans la zone de régime, au bout d'un temps fini, il faut que les trois quantités $\frac{n}{\mathfrak{R}}$, ε et $\frac{v}{\mathfrak{R}}$ vérifient une certaine égalité que l'on peut réduire à

$$\frac{v}{\mathfrak{R}} = \frac{1}{4\mu} \frac{n^2}{\mathfrak{R}^2} \frac{\mathfrak{L}}{\Lambda\varepsilon}, \tag{3}$$

où μ désigne un coefficient de sécurité assujetti à la condition d'être plus grand que l'unité et qui, dans les cas ordinaires de la pratique, peut être pris égal à 2 (1).

Les quantités qui figurent dans le second membre de la formule précédente étant toutes connues, cette formule permet de fixer la valeur de $\frac{v}{\mathfrak{R}}$.

8. Comme $\frac{v}{\mathfrak{R}}$ doit être forcément plus grand que σ et que σ ne

(1) H. Léauté, *Marche rationnelle à suivre en pratique pour l'établissement d'un appareil de régulation à action indirecte.* (*Compt. rend.*, 1er mars 1886.)

descend pas lui-même au-dessous d'une certaine limite, il en résulte que la quantité $\frac{\Delta\omega}{\Delta\varepsilon}$ ne peut pas descendre elle-même au-dessous d'une certaine valeur, variable du reste avec $\frac{n}{\mathfrak{N}}$.

C'est là la condition essentielle qui marque la limite de puissance des appareils de régulation à action indirecte.

Si elle n'était point satisfaite, on serait averti que l'on a demandé à l'appareil plus de régularité qu'il n'en peut donner; il deviendrait alors nécessaire d'admettre de plus grands écarts de vitesse pendant les périodes de perturbation et de recommencer le calcul sur de nouvelles bases.

Le tableau ci-dessous, où l'on a supposé μ égal à 2 et où l'on a pris $\frac{\nu}{\mathfrak{N}}$ égal à σ, indique les valeurs au-dessous desquelles on ne doit pas descendre pour $\frac{\Delta\omega}{\Delta\varepsilon}$, suivant les valeurs attribuées à $\frac{n}{\mathfrak{N}}$ et à σ.

Valeur de $\frac{\Delta\omega}{\Delta\varepsilon} = \frac{8\sigma}{\left(\frac{n}{\mathfrak{N}}\right)^2}$.

σ.	$\frac{n}{\mathfrak{N}}$			OBSERVATIONS.
	$\frac{5}{100}$.	$\frac{10}{100}$.	$\frac{15}{100}$.	
$\frac{1}{100}$	32	8	3,5	Appareils tres étudiés et très soignés.
$\frac{2}{100}$	64	16	7	Appareils ordinaires.
$\frac{4}{100}$	128	32	14	

En rapprochant ce tableau du précédent, qui donne $\frac{\Delta\omega}{\Delta\varepsilon}$ en fonction de x et de z, on pourra juger, presque à première vue, de l'effet utile que l'on peut attendre d'un appareil de régulation dans un cas donné.

9. La connaissance de la puissance de l'appareil à force centri-

fuge permettra d'en fixer le choix toutes les fois qu'il suffira d'un petit déplacement du manchon pour produire l'embrayage ou le débrayage du mécanisme de commande, et c'est le cas le plus ordinaire.

Mais, s'il fallait un parcours un peu long pour amener ce résultat, il deviendrait nécessaire de s'assurer que l'effort produit se soutient suffisamment pendant ce parcours, pour que l'embrayage et le débrayage aient lieu complètement, l'un et l'autre, dans les limites de variation de la vitesse que l'on a admises.

CHAPITRE II.

APPLICATION A UN EXEMPLE.

1. Pour rendre plus sensible la méthode qui vient d'être indiquée, nous allons l'appliquer à un exemple.

Les données seront les suivantes :

Une turbine de 80 chevaux, qui fait 50 tours par minute, commande un certain nombre d'ateliers distincts dont les machines-outils fonctionnent d'une manière intermittente.

On estime que les variations brusques que peut subir ainsi la résistance par le fait du débrayage ou de l'embrayage simultané de ces machines-outils représentent environ 16 chevaux.

On admet que la vitesse de régime peut varier, sans inconvénient, de 47,5 à 52,5 tours, soit de 10 pour 100 en marche normale, et l'on veut que, pendant les perturbations dont il vient d'être question, la vitesse de la turbine ne dépasse pas 60 tours et ne descende pas au-dessous de 40 tours.

On sait en outre que, pour opérer à la main la fermeture du vannage supposé dans sa position normale, il faut 80 tours de manivelle, la manivelle ayant $0^{m},40$ de rayon et l'effort à la circonférence étant de 10^{kg} environ.

Enfin, l'expérience a montré que, si l'on supprimait brusquement l'arrivée de l'eau, la turbine pourrait encore faire 120 tours environ avant de s'arrêter complètement.

2. De ces données, il résulte tout d'abord que l'amplitude relative des variations de résistance contre lesquelles on doit se mettre en garde est, en moyenne, de $\frac{20}{100}$,

$$x = \frac{16}{80} = \frac{20}{100},$$

et que la variation relative maxima de la vitesse, en dehors de la zone de régime que l'on veut admettre, est de $\frac{15}{100}$,

$$z = \frac{60 - 52,5}{50} = \frac{47,5 - 40}{50} = \frac{15}{100}.$$

On en conclut que la quantité désignée par $\frac{\mathcal{A}}{\Lambda\varepsilon}$ doit avoir pour valeur 17,6,

$$\frac{\mathcal{A}}{\Lambda\varepsilon} = \frac{4z}{(1-z)x^2} = \frac{4 \times 0,15}{0,85 \times \overline{0,20}^2} = 17,6.$$

Or si, pour plus de simplicité, l'on mesure le chemin que décrit la machine par le nombre de tours de la turbine, il résulte des données précédentes que $\Lambda = 120$ et l'on en déduit pour $\frac{\mathcal{A}}{\varepsilon}$ la valeur

$$\frac{\mathcal{A}}{\varepsilon} = 17,6 \times 120 = 2120.$$

L'ouverture du vannage peut, de son côté, être mesurée par le nombre de tours de manivelle qu'il a fallu faire pour l'amener à sa position actuelle, à partir du moment où elle était fermée.

On a ainsi $\mathcal{A} = 80$ et la quantité ε devient égale à $\frac{1}{26,5}$,

$$\varepsilon = \frac{80}{2120} = \frac{1}{26,5}.$$

Le mécanisme de commande du vannage devra donc être tel que l'arbre de la manivelle fasse $\frac{1}{26}$ ou $\frac{1}{27}$ de tour quand celui de la turbine en fait 1, soit 2 tours environ par minute, et cette condition le détermine dans sa partie essentielle.

L'effort qu'il a à transmettre résulte des données précédentes.

La turbine faisant 50 tours par minute, l'arbre à manivelle en fera $\frac{50}{60 \times 27} = \frac{1}{32}$ par seconde : le travail qu'il transmettra par seconde sera ainsi de $0^{kgm},78$,

$$\frac{1}{32} 2\pi \times 0^{m},40 \times 10^{kg} = 0^{kgm},78,$$

et l'on peut admettre que le mécanisme de commande consommera environ 3^{kgm} à 4^{kgm}, en raison de la forte réduction de vitesse qu'il faudra opérer et des frottements relativement considérables qui en seront la conséquence.

Cet élément permettra d'en calculer les dimensions.

3. Le degré d'isochronisme résulte immédiatement des données primitives; $\frac{n}{\mathfrak{N}}$ est égal à $\frac{10}{100}$,

$$\frac{n}{\mathfrak{N}} = \frac{52,5 - 47,5}{50} = \frac{10}{100}.$$

La quantité $\frac{\mathfrak{L}}{\Lambda\varepsilon}$ étant connue par les calculs précédents, on en déduit la valeur de la différence relative $\frac{\nu}{\mathfrak{N}}$ des vitesses de mise en train et d'arrêt du mécanisme de commande.

En prenant $\mu = 2$, on en conclut que cette différence $\frac{\nu}{\mathfrak{N}}$ doit être égale à 2,20 pour 100,

$$\frac{\nu}{\mathfrak{N}} = \frac{1}{4\mu} \frac{n^2}{\mathfrak{N}^2} \frac{\mathfrak{L}}{\Lambda\varepsilon} = \frac{1}{8}\left(\frac{10}{100}\right)^2 \times 17,6 = \frac{2,20}{100}.$$

Le chiffre auquel on arrive pour $\frac{\nu}{\mathfrak{N}}$ montre qu'il est facile d'atteindre les résultats demandés.

Si l'on emploie un appareil à boules, de construction soignée et convenablement installé, σ ne dépassera pas le chiffre de $\frac{1,50}{100}$, et l'on peut ainsi compter sur une valeur de $\frac{\nu}{\mathfrak{N}} - \sigma$ à peu près égale à $\frac{0,70}{100}$.

4. Pour aller plus loin maintenant, il est nécessaire de faire choix d'un système déterminé de transmission et d'un appareil à force centrifuge.

Nous supposerons qu'on adopte le dispositif représenté à la *Pl. I*, qui, sauf quelques modifications, a été employé dans l'installation hydraulique de Bellegarde, et dans lequel le mécanisme de commande de vannage est actionné par une courroie mobile c passant sur un système de trois poulies p_1, p_2, p_3.

Comme il importe d'alléger le mécanisme et d'éviter des résistances trop grandes, on fera marcher la courroie mobile à $1^{m},00$ de vitesse environ, ce qui correspond pour le manchon et les trois poulies à 100 tours par minute pour un diamètre de $0^{m},20$.

On prendra, dans le même but, des engrenages à denture un peu fine, des tourillons de petit diamètre et des vis sans fin à filets assez inclinés.

Avec ces précautions et quelques autres du même genre, le travail consommé restera dans les limites fixées plus haut; l'effort utile à demander à la courroie de commande, qui se trouve avoir une vitesse de $1^{m},00$ par seconde, sera de 3^{kg} à 4^{kg}, et il suffira de donner à cette courroie une largeur de 27^{mm} (1).

Bien que le mode d'action d'une courroie ne soit pas parfaitement déterminé, on peut cependant admettre, en moyenne, que l'entraînement de la poulie, sur laquelle on la pousse, commence lorsque la courroie est engagée du tiers de sa largeur et qu'il est pleinement assuré quand elle est engagée de moitié.

Nous supposerons, par suite, que l'effort du manchon s'annule quand la courroie est engagée de moitié et atteint son maximum quand elle est engagée du tiers.

Le maximum d'effort étant dû à une variation de vitesse égale à $\frac{1}{2}\left(\frac{v}{\mathcal{R}} - \sigma\right)$, il résulte de là qu'un déplacement égal à $\frac{1}{2} - \frac{1}{3} = \frac{1}{6}$ de la largeur de la courroie correspond à une variation de $\frac{1}{2}\left(\frac{v}{\mathcal{R}} - \sigma\right)$ dans la vitesse d'équilibre des boules.

On réglera, par suite, la course de la courroie ou, ce qui revient au même, la course du manchon par ces deux conditions : 1° que la courroie soit engagée du tiers sur l'une ou l'autre des poulies fixes au moment où les vitesses d'équilibre correspon-

(1) Nous supposons la courroie formée de cuir de 4^{mm} d'épaisseur, et nous lui faisons transmettre un effort utile de $1^{kg},5$ par centimètre de largeur. L'allongement élastique sera alors de 15^{mm} à 20^{mm} pour 1^{m}.

dantes diffèrent de $\frac{n}{\mathfrak{N}}$; 2° qu'un déplacement du sixième de sa largeur, à partir de ces positions, corresponde à une variation de la vitesse d'équilibre égale à $\frac{1}{2}\left(\frac{\nu}{\mathfrak{N}} - \sigma\right)$.

Or, pour des variations de vitesse de cet ordre de grandeur, la vitesse d'équilibre de l'appareil à boules adopté varie proportionnellement au déplacement du manchon.

Dès lors, si l'on désigne par l la largeur de la courroie et par C_l la course totale de la courroie, nécessaire pour l'engager complètement sur les poulies fixes, on aura (1)

$$C_l = \frac{1}{3}\, l \left(\frac{\frac{n}{\mathfrak{N}}}{\frac{\nu}{\mathfrak{N}} - \sigma} + 4 \right), \tag{4}$$

et la poulie folle moyenne devra avoir une largeur G de

$$\frac{1}{3}\, l \left(\frac{\frac{n}{\mathfrak{N}}}{\frac{\nu}{\mathfrak{N}} - \sigma} + 1 \right).$$

$$G = \frac{1}{3}\, l \left(\frac{\frac{n}{\mathfrak{N}}}{\frac{\nu}{\mathfrak{N}} - \sigma} + 4 \right) - l = \frac{1}{3}\, l \left(\frac{\frac{n}{\mathfrak{N}}}{\frac{\nu}{\mathfrak{N}} - \sigma} + 1 \right). \tag{5}$$

Dans l'exemple choisi, la courroie mobile ayant 27^{mm} de largeur, la course totale devra être de 164^{mm},

$$C_l = \frac{1}{3}\, 27 \left(\frac{10}{0{,}70} + 4 \right) = 164,$$

et la largeur de la poulie folle de 137^{mm},

$$G = \frac{1}{3}\, 27 \left(\frac{10}{0{,}70} + 1 \right) = 137.$$

---

(1) Le déplacement à donner à la courroie pour l'engager du tiers de sa largeur sur chacune des poulies fixes est égal à $C_l - \frac{4}{3} l$.

On a donc

$$\frac{C_l - \frac{4}{3} l}{\frac{1}{6} l} = \frac{\frac{n}{\mathfrak{N}}}{\frac{1}{2}\left(\frac{\nu}{\mathfrak{N}} - \sigma\right)},$$

d'où l'équation (4).

Les divers éléments de l'appareil à force centrifuge dépendent, en partie, du rapport que l'on admet entre les déplacements du manchon et ceux de la courroie mobile, rapport susceptible de varier dans une certaine mesure et que l'on fixe de façon à ramener dans les limites les plus pratiques les dimensions et le poids du régulateur.

En désignant par C_M la course totale du manchon correspondant à C_l, et par K_l la somme des efforts nécessaires pour pousser la courroie sur l'une des poulies fixes et pour la ramener ensuite sur la poulie folle, on a

$$K_M = \frac{C_l}{C_M} K_l, \tag{6}$$

et la puissance de l'appareil à boules est donnée par la relation

$$\Phi = \frac{C_l}{C_M} \frac{K_l}{\frac{v}{\mathfrak{N}} - \sigma}. \tag{7}$$

Quant aux dimensions de cet appareil, elles devront être telles qu'un déplacement du manchon égal à $\frac{C_M}{C_l} \frac{l}{3}$ corresponde à une variation de $\frac{v}{\mathfrak{N}} - \sigma$ dans les vitesses d'équilibre correspondantes.

5. Avec le type de régulateur isoscèle indiqué sur la *fig.* 1 (1), où l'écartement des points de suspension est égal aux $\frac{3}{10}$ de la longueur L des tiges, une variation de $\frac{1}{100}$ dans la vitesse amène un déplacement du manchon de $\frac{1}{45}$ L, et la valeur de L est donnée dès lors par la proportion

$$\frac{\frac{1}{100}}{\frac{v}{\mathfrak{N}} - \sigma} = \frac{\frac{1}{45} L}{\frac{C_M}{C_l} \frac{l}{3}};$$

d'où l'on déduit

$$L = \frac{C_M}{C_l} \frac{\frac{15}{100} l}{\frac{v}{\mathfrak{N}} - \sigma}. \tag{8}$$

(1) Voir plus loin, au chap. V, les formules relatives aux appareils à force centrifuge.

Comme, d'un autre côté, le poids M du manchon est triple du poids B des deux boules réunies, on a

$$B = \frac{1}{7}\Phi. \tag{9}$$

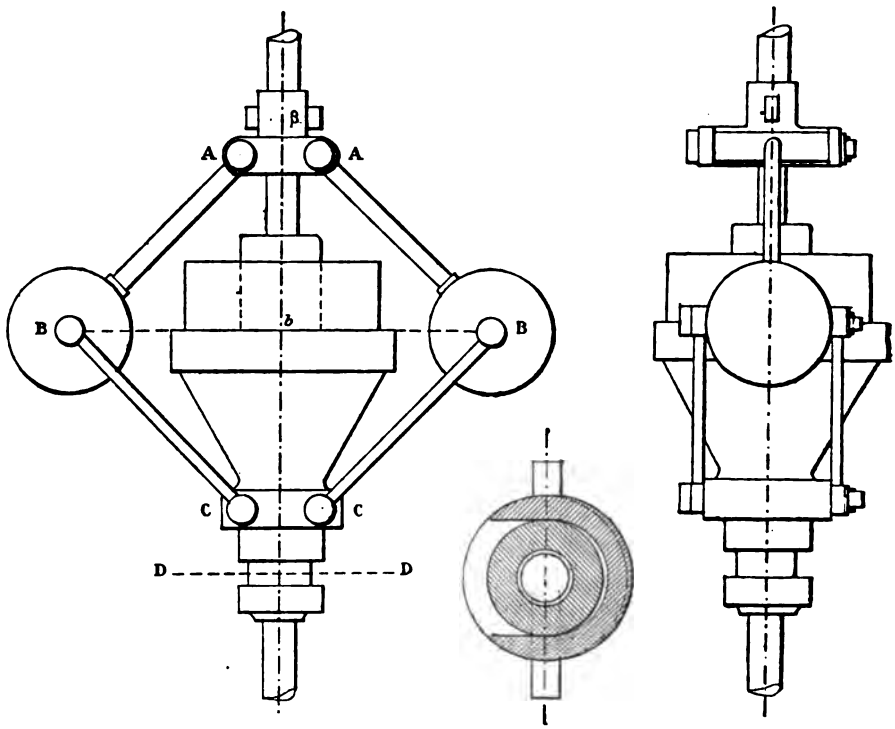
$$M = \frac{3}{7}\Phi, \tag{10}$$

et la vitesse moyenne d'équilibre $\mathfrak{N}_B$ est donnée par l'expression

$$\mathfrak{N}_B = \frac{2600}{\sqrt{L}}, \tag{11}$$

Fig. 1.

APPAREIL A BOULES DANS SA POSITION MOYENNE.



Coupe suivant D, D. Détail du collier.

b, projection du centre B de la boule sur l'axe de rotation
β, point de rencontre de AB avec l'axe de rotation;
*b*β, sous-normale.

où L représente les millimètres et $\mathfrak{N}_B$ le nombre de tours par minute que doivent faire les boules.

Dans les conditions où nous sommes placés, K_l est égal à $0^{kg},800$ (1) environ.

Pour diminuer un peu les dimensions de l'appareil à boules, nous supposerons la course du manchon moindre que celle de la courroie et nous prendrons

$$\frac{C_M}{C_l} = \frac{6}{10}.$$

On aura, dès lors,

$$\Phi = \frac{C_l}{C_M}\frac{K_l}{\frac{\nu}{\mathfrak{N}} - \sigma} = \frac{10}{6}\frac{0,800}{\frac{0,70}{100}} = 192^{kg},$$

$$L = \frac{C_M}{C_l}\frac{\frac{15}{100}l}{\frac{\nu}{\mathfrak{N}} - \sigma} = \frac{6}{10}\frac{\frac{15}{100}27}{\frac{0,70}{100}} = 346^{mm};$$

d'où l'on déduit

$$B = \tfrac{1}{7}\Phi = 27^{kg},5,$$
$$M = \tfrac{3}{7}\Phi = 82^{kg},$$
$$\mathfrak{N}_B = \frac{2600}{\sqrt{L}} = 140^{t}.$$

Les boules pèseront donc $13^{kg},7$ chacune, et elles devront faire en moyenne 140 révolutions par minute.

L'appareil de régulation se trouve ainsi complètement déterminé dans ses parties essentielles.

6. *Observations pratiques.* — L'efficacité de l'appareil de régulation est limitée principalement par les résistances passives qui s'opposent au jeu, soit de l'appareil à boules, soit du mécanisme de commande.

---

(1) A défaut d'expériences plus précises, on obtient des résultats suffisamment exacts en calculant K_l par la formule empirique

$$K_l = \frac{3}{100}l,$$

où K_l exprime des kilogrammes et l des millimètres.

Cette formule suppose la longueur de la courroie (distance des poulies) au moins égale à 30 fois sa largeur et sa vitesse au moins égale à 1^m par seconde.

Il est donc essentiel, lorsqu'on veut obtenir une action régulatrice énergique, de diminuer le plus possible ces résistances.

Pour l'appareil à boules proprement dit, il conviendra, par suite, de réduire au minimum le diamètre des tourillons et de réduire également les pressions qu'ils supportent, en donnant à ces tourillons des écartements convenables, s'ils ont à supporter des efforts de torsion.

Pour le mécanisme d'embrayage, il conviendra d'en rendre la liaison avec le manchon de l'appareil à boules aussi immédiate que possible et de l'alléger le plus que l'on pourra, en se bornant aux dimensions strictement nécessaires. D'une manière générale, on devra éviter l'emploi des glissières qui donnent lieu à des frottements exagérés, quelquefois même à des arcs-boutements, et employer de préférence des systèmes articulés et des pièces oscillantes.

C'est pour ce motif que l'on a adopté dans l'exemple précédent une fourchette portée par deux tourillons, assez éloignés d'ailleurs, au lieu d'une fourchette guidée à la manière ordinaire.

On a pris de même une courroie de largeur très réduite, mais de longueur assez grande, afin de rendre le déplacement plus facile. Toute cette partie de l'appareil de régulation constitue en somme une sorte de balance et doit être établie comme telle.

7. *Moyens de réglage.* — Les données primordiales dont dépend l'appareil de régulation comportent toujours une indétermination et un arbitraire assez considérables.

Ainsi, les limites entre lesquelles il faut maintenir la vitesse de régime n'ont rien d'absolu, et, s'il est généralement possible de fixer assez exactement l'étendue relative des perturbations à craindre, l'écart maximum que l'on doit tolérer dans la vitesse pendant le fonctionnement du régulateur est une question d'appréciation qui renferme quelque chose d'un peu arbitraire.

Si donc il est indispensable d'établir tout d'abord, par un calcul préalable, quel pourra être l'effet d'un appareil de régulation dans des circonstances données et quels seront approximativement les principaux éléments de cet appareil, il serait illusoire de compliquer le calcul par une recherche exagérée de précision, et il est préférable, à tous les points de vue, de laisser à l'expérience

le soin de fixer en dernier ressort la valeur des éléments dont il s'agit et de corriger, s'il y a lieu, les erreurs du premier calcul.

Un appareil de ce genre doit, par suite, renfermer toujours des moyens de réglage. Cela est d'autant plus nécessaire, que toutes les installations mécaniques sont appelées à subir des modifications ultérieures qui peuvent changer les conditions d'établissement du régulateur.

On arrivera d'ailleurs aisément à régler chaque appareil en se rappelant que les oscillations indéfinies tendent à disparaître, toutes choses égales d'ailleurs (1) :

1° Quand on diminue le degré d'isochronisme de l'appareil à boules;

2° Quand on diminue la vitesse relative du vannage.

On pourra également se rendre compte *a priori* de l'effet d'un changement apporté à l'installation mécanique primitive, en ayant égard à ce fait que les oscillations tendent à disparaître quand on augmente la résistance ou que l'on abaisse le moment d'inertie total.

8. Nous allons indiquer, en partant du type d'appareil adopté dans l'exemple donné ci-dessus, les divers moyens de réglage que l'on peut employer.

1° *Degré d'isochronisme.* — Le moyen qui se présente le plus immédiatement à l'esprit est de changer la largeur de la poulie folle.

Cette solution ne présente aucune impossibilité pratique; il suffirait, pour cela, soit d'avoir quelques poulies de rechange, soit de faire la poulie folle en deux pièces que l'on pourrait rapprocher ou écarter.

Il est plus simple cependant d'agir sur la portion de course du manchon que l'on utilise sans toucher à la poulie folle et d'adopter la disposition figurée sur la *Pl. II.*

Cette disposition consiste à réunir le levier du manchon au levier de la fourchette par une petite bielle verticale *b* dont la position est variable.

---

(1) H. Léauté, *Mémoire sur les oscillations à longues périodes*, chap. V, § 5.

En rapprochant cette bielle du manchon, on augmente la cour de celui-ci et l'on diminue l'isochronisme.

En la rapprochant, au contraire, de la fourchette, on dimin la course du manchon et l'on augmente l'isochronisme.

Dans l'exemple choisi, un déplacement de la bielle de 7 à 8^{mm} correspond à une variation de $\frac{1}{100}$ dans l'écart des vites de régime extrêmes.

On pourrait encore parvenir au même résultat en détermin la différence des vitesses correspondant à l'ouverture et à la meture du vannage par un poids additionnel que l'appare boules devrait soulever avant d'embrayer le mécanisme de meture.

Ce poids additionnel serait placé sur l'axe même du régula et en l'augmentant ou en le diminuant on pourrait diminue augmenter le degré d'isochronisme.

L'appareil à boules serait alors disposé comme l'indiq *fig.* 2 (1).

2° *Vitesse relative du vannage.* — On arrive à mo cette vitesse en changeant le tambour de commande des troi lies conjuguées.

Mais on peut aussi interposer dans le parcours de la tra sion de mouvement un équipage de deux pignons, disposé de à pouvoir être facilement changé.

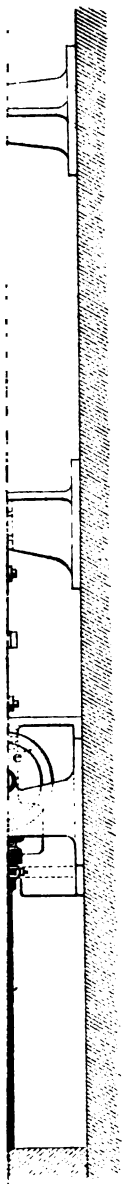
En prenant soin de donner le même diamètre aux deux qui les portent, on pourra les permuter entre eux, et cel mettra d'obtenir quatre vitesses différentes avec deux équ seulement de roues dentées.

Dans l'exemple étudié plus haut (*Pl. II*), on pourra dans ce but les pignons e'' placés immédiatement à la suit manivelle.

3° *Vitesse moyenne de l'appareil à boules.* — Bien

(1) Cette disposition est avantageuse dans le cas où les variations acc de la vitesse sont assez fortes pour agir, d'une manière sensible, sur l'a force centrifuge, car elle soustrait les boules à l'effet des forces d'iner entraînent à dépasser leur position d'équilibre.

On peut ainsi s'opposer aux oscillations des boules sans recourir à l'e frein à huile.



Légende

P *poulie de commande générale de l'appareil de régulation.*

c *courroie mobile actionnant le mécanisme de commande du vannage.*

p_1 *poulie folle.*

p_2 e_2 *poulie et pignon de fermeture calés sur l'arbre a'*

p_3 e_3 *poulie et pignon d'ouverture formant une seule pièce folle sur l'arbre a'*

M *manchon de l'appareil à boules.*

m *rondelles additionnelles servant à régler la vitesse moyenne de régime.*

b *bielle mobile reliant le levier de manœuvre à la fourchette et permettant de régler le degré d'isochronisme.*

e'' e'' *équipage de pignons permettant de régler la vitesse relative du vannage.*

g_1 *manchon à griffes calé sur l'arbre a'' permettant de suspendre l'action du régulateur et de manœuvrer le vannage à la main.*

I *écrou curseur indiquant le degré d'ouverture du vannage.*

g_2 g_3 *manchons à griffes calés sur l'arbre a'' et transmettant respectivement à cet arbre le mouvement de fermeture et d'ouverture communiqué par le pignon e'''*

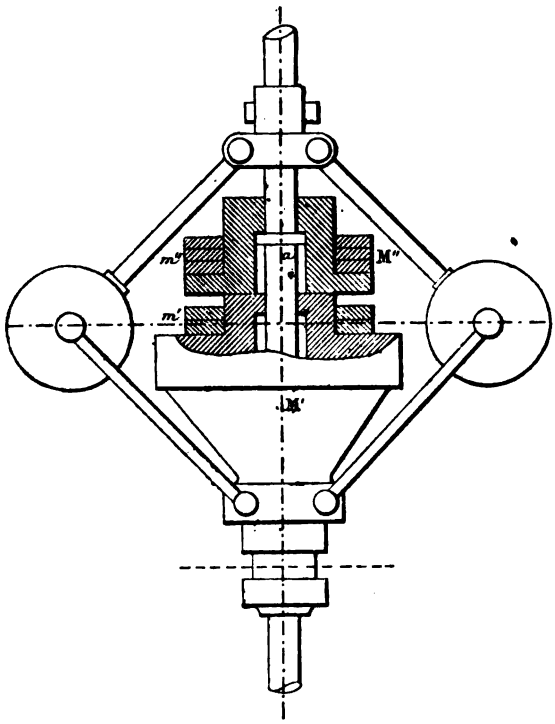
l_2 l_3 *leviers de débrayage des manchons à griffes* g_2 g_3

élément soit généralement bien connu, il peut être utile de se réserver les moyens de le modifier dans une certaine mesure.

Fig. 2.

APPAREIL A BOULES DANS SA POSITION MOYENNE.

DISPOSITION PARTICULIÈRE PERMETTANT DE MODIFIER LE DEGRÉ D'ISOCHRONISME SANS CHANGER LA COURSE DU MANCHON.



M', manchon;

M'', poids additionnel que le manchon doit soulever pour s'élever au-dessus de sa position moyenne et déterminer l'embrayage du mécanisme de fermeture de la vanne;

m', m'', rondelles pesantes permettant de régler la vitesse moyenne et le degré d'isochronisme de l'appareil;

a, bague fixée à l'axe de rotation, empêchant le poids additionnel d'accompagner le manchon quand celui-ci, descendant au-dessous de sa position moyenne, provoque l'embrayage du mécanisme d'ouverture de la vanne.

Le moyen le plus simple est de changer le poids du manchon en le composant d'un certain nombre de rondelles mobiles m'' (*fig.* 2).

La forme représentée dans le dessin se prête aisément à cette disposition.

Avec les dimensions et le poids donnés plus haut, une variation de poids de 2^{kg} correspond à une variation de $\frac{1}{100}$ environ de la vitesse de régime.

9. *Dispositifs de sûreté.* — Quand la vanne est actionnée par le régulateur, elle peut être entraînée dans ses oscillations à dépasser les positions limites d'ouverture et de fermeture complètes.

Il est indispensable alors, pour éviter des efforts dangereux, que le mécanisme de commande se déclenche automatiquement au moment où la vanne est à fond.

Les appareils ordinaires possèdent presque tous des mécanismes de sûreté de ce genre.

Mais, dans plusieurs d'entre eux, le déclenchement une fois produit, l'enclenchement ne se rétablit plus de lui-même.

Une pareille disposition doit être proscrite, car elle constitue un danger d'un autre genre, le régulateur cessant de fonctionner sans que l'on en soit averti.

Il est donc essentiel que le dispositif de sûreté, qui suspend l'action du moteur quand la vanne est à bout de course, permette le rétablissement automatique de cette action dès que le mouvement inverse tend à se produire.

Le mécanisme représenté sur la *Pl. I* remplit ces conditions.

Il est disposé comme il suit :

L'arbre a''', qui communique le mouvement à la vanne et se trouve invariablement relié avec elle, reçoit ce mouvement du pignon e'', par l'intermédiaire de deux manchons à griffes g_2, g_3, taillés de façon à n'entraîner la vanne chacun que dans un sens.

Ces manchons, susceptibles d'ailleurs de glisser longitudinalement, sont calés sur a''', et le pignon e''', dont le moyeu porte des griffes correspondantes, est fou sur cet arbre.

L'arbre a''' porte, en outre, une vis et fait ainsi mouvoir un écrou curseur I qui indique, par sa position, la quantité dont la vanne est ouverte.

Des contrepoids pressent les manchons g_2, g_3 contre le moyeu du pignon e''' et les maintiennent en prise pendant la marche normale.

Mais, quand l'écrou curseur arrive aux extrémités de sa course, il pèse sur les leviers l_2, l_3 et repousse les manchons correspondants g_2, g_3, de façon à empêcher le mouvement de se continuer dans le même sens.

L'embrayage ainsi suspendu momentanément se rétablit ensuite de lui-même dès que la vanne s'écarte de sa position extrême.

Il faut remarquer que, par suite de l'élasticité de ses différentes parties, le mécanisme d'entraînement du vannage tend à revenir en arrière au moment du déclenchement, et que le renclenchement peut ainsi se reproduire automatiquement.

On doit s'opposer à ce mouvement, qui amènerait une usure rapide des griffes, en interposant entre l'écrou et le manchon des ressorts suffisamment élastiques pour empêcher le manchon déplacé de revenir au contact.

CHAPITRE III.

RÉDUCTION DES ACCROISSEMENTS MOMENTANÉS DE VITESSE.

1. Les formules et les tableaux numériques donnés dans le premier chapitre montrent que les appareils ordinaires de régulation à action indirecte tolèrent forcément d'assez grands écarts de vitesse en dehors de la zone de régime, et que ces écarts croissent rapidement avec la grandeur de la perturbation qui leur a donné naissance.

De pareilles variations, qui sont simplement momentanées, ne présentent souvent aucun inconvénient dans la pratique, et le régulateur joue quand même un rôle utile en maintenant la vitesse de régime dans la zone que l'on s'est fixée.

Mais il n'en est pas toujours de même, et si les ralentissements ont, en général, peu d'inconvénients au point de vue mécanique, les accroissements de vitesse peuvent, quand ils dépassent certaines limites, devenir une cause de danger (1).

Il devient donc nécessaire, pour adapter les appareils de régulation à ces conditions particulières, de les modifier de manière qu'ils s'opposent d'une façon plus énergique sinon à toutes les variations de vitesse, du moins aux augmentations dangereuses dont il vient d'être question.

2. Le seul moyen de diminuer les accroissements de vitesse momentanés qui se produisent pendant que l'appareil de régulation ferme la vanne est de rendre cette fermeture plus rapide, c'est-à-dire d'augmenter ce que nous avons appelé la *vitesse relative* du vannage pendant la fermeture.

Mais, à moins de changer le principe même de l'appareil, on ne peut éviter alors les oscillations à longues périodes qu'à condition de compenser la plus grande rapidité de la fermeture par un ralentissement correspondant dans la vitesse relative d'ouverture du vannage.

L'effet utile d'une période quelconque d'ouverture ou de fermeture du vannage est, en effet, sensiblement proportionnel à l'écart de vitesse qui s'y produit (2), et l'on ne saurait diminuer les accroissements de vitesse correspondant aux périodes de fermeture sans augmenter en même temps les ralentissements produits pendant les périodes d'ouverture de la vanne.

En résumé, on obtiendra le résultat cherché en modifiant le mécanisme de commande de vannage de façon à avoir des vitesses différentes pour l'ouverture et la fermeture; mais l'on se trouvera limité dans cette voie par la nécessité de ne pas amener

(1) Ainsi, dans le cas particulier de la fabrication de la poudre, les meules tournent normalement à la vitesse de 10 tours, et la vitesse de 12 tours par minute est une vitesse dangereuse.

(2) H. Léauté, *Mémoire sur les oscillations à longues périodes,* chap. III, § 7, p. 70, théorème III. L'effet utile d'une période de mouvement, dans un régulateur sans frottement, est proportionnel à l'écart de vitesse qui se produit dans cette période; il varie en raison inverse du carré de l'écart initial de la vanne et il est inversement proportionnel à l'énergie du mécanisme de commande du vannage.

des ralentissements exagérés à la suite des périodes de fermeture.

D'une manière générale, on peut admettre que la vitesse de fermeture du vannage devra, au plus, être égale à 10 fois celle d'ouverture (1).

3. Dans ces conditions, si l'on désigne par ε' la vitesse relative de fermeture et par ε'' la vitesse relative d'ouverture, chacune de ces vitesses étant d'ailleurs définie comme il a été dit plus haut, la relation à laquelle doivent satisfaire ε' et ε'' pour qu'il ne se produise pas d'oscillations indéfinies peut, avec une approximation suffisante, se réduire à

$$\frac{\nu}{\mathfrak{T}} = \frac{2}{\mu} \frac{\mathfrak{h}}{\Lambda(\varepsilon' + 7\varepsilon'')} \frac{n^2}{\mathfrak{T}^2}, \tag{12}$$

où, comme nous l'avons dit, $\frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}$ ne doit point descendre au-dessous de $\frac{1}{10}$.

Cette formule montre que l'on peut regarder comme équivalents, au point de vue du fonctionnement ou, en d'autres termes, comme offrant la même garantie contre la production des oscillations indéfinies, les appareils qui diffèrent seulement par des vitesses relatives du vannage ε' et ε'' et pour lesquels $\varepsilon' + 7\varepsilon''$ a sensiblement la même valeur.

D'un autre côté, si l'on désigne respectivement par z' et par z'' le plus grand accroissement et la plus grande diminution de vitesse qui suivent une perturbation x, on a

$$z' = \frac{\frac{\mathfrak{h}}{4\Lambda\varepsilon'} x^2}{1 + \frac{\mathfrak{h}}{4\Lambda\varepsilon'} x^2}, \tag{13}$$

$$z'' = \frac{\frac{\mathfrak{h}}{4\Lambda\varepsilon''} x^2}{1 + \frac{\mathfrak{h}}{4\Lambda\varepsilon''} x^2} \tag{14}$$

On peut ainsi mettre en évidence l'influence de la modification indiquée et apprécier le bénéfice qu'on doit en attendre en com-

(1) Voir *Appendice*, Note III.

parant les accroissements de vitesse ou les ralentissements momentanés qui, toutes choses égales d'ailleurs, se produiront avec ces divers appareils.

Dans cet ordre d'idées, si l'on prend pour terme de comparaison le dispositif ordinaire où les vitesses de fermeture et d'ouverture ont une même valeur ε, on aura, pour tous ces appareils,

$$\varepsilon' + 7\varepsilon'' = 8\varepsilon,$$

et comme on a, par les formules (13) et (14),

$$\varepsilon' \frac{z'}{1-z'} = \varepsilon'' \frac{z''}{1-z''} = \frac{k}{4\Lambda} x^2,$$

on voit que les variations de vitesse de la machine z' et z'' correspondant à une même perturbation sont liées par la relation

$$\varepsilon' \frac{z'}{1-z'} = \varepsilon'' \frac{z''}{1-z''} = \varepsilon \frac{z}{1-z},$$

où z représente la valeur commune que prennent z' et z'' dans le cas de l'appareil à vitesses égales.

4. On peut ainsi, étant donnés les écarts de vitesses qui se produiront avec un appareil ordinaire, calculer immédiatement les accroissements de vitesse et les ralentissements qui naîtront dans les mêmes circonstances avec des appareils à fermeture rapide équivalents.

Les tableaux ci-dessous montrent comment varient les vitesses du vannage dans ces divers appareils, et font connaître en même temps les écarts de vitesse qu'ils permettent en dehors de la zone de régime :

$\frac{\varepsilon'}{\varepsilon''}$.	$\frac{\varepsilon'}{\varepsilon}$.	$\frac{\varepsilon''}{\varepsilon}$.	$\frac{\varepsilon'}{\varepsilon''}$.	$\frac{\varepsilon'}{\varepsilon}$.	$\frac{\varepsilon''}{\varepsilon}$.
1	1	1	6	3,7	0,61
2	1,8	0,89	7	4	0,57
3	2,4	0,80	8	4,2	0,53
4	2,9	0,73	9	4,5	0,50
5	3,3	0,67	10	4,7	0,47

$\frac{t'}{t''}$	$z = 0,10$		$z = 0,20$		$z = 0,30$	
	z'.	z''.	z'.	z''.	z'.	z''.
2	0,06	0,11	0,12	0,22	0,19	0,32
4	0,04	0,13	0,08	0,25	0,13	0,37
6	0,03	0,15	0,06	0,29	0,10	0,41
8	0,03	0,17	0,06	0,32	0,09	0,45
10	0,02	0,19	0,05	0,35	0,08	0,48

L'emploi de ces tableaux ne présente aucune difficulté.

Si l'on considère, par exemple, un appareil de régulation ordinaire qui, dans des circonstances données, tolère des écarts de vitesse de $\frac{20}{100}$ en dehors de la zone de régime, les tableaux ci-dessus montrent que l'on pourra réduire les accroissements de vitesse à $\frac{10}{100}$ environ, à condition d'admettre des ralentissements momentanés de $\frac{41}{100}$ et que ce résultat s'obtiendra en rendant la fermeture du vannage 3,7 fois plus rapide, la vitesse d'ouverture étant réduite en même temps dans le rapport de 1 à 0,61.

D'une manière générale, il sera possible, sans sortir des limites pratiques, de réduire des deux tiers les accroissements momentanés de vitesse que tolèrent les appareils ordinaires.

5. Ces nombres font ressortir nettement les avantages que l'on doit attendre de la modification indiquée, modification qui n'exige d'ailleurs aucun organe délicat et ne complique pas sensiblement le mécanisme.

D'un autre côté, les développements donnés dans le chapitre I, au sujet des appareils ordinaires, montrent suffisamment la marche à suivre pour l'établissement d'un appareil à fermeture rapide.

La fixation des écarts momentanés que l'on peut tolérer dans la vitesse, de part et d'autre de la zone de régime, c'est-à-dire la connaissance de z' et de z'', fournira, à l'aide des formules (13) et (14), les valeurs des vitesses relatives de fermeture et d'ouverture du vannage, et ces éléments une fois connus, le calcul s'achèvera, comme précédemment, en remplaçant l'équation de condition (3) par l'équation (12) où il conviendra encore de prendre μ égal à 2,

ce qui donne

$$\frac{v}{\mathfrak{N}} = \frac{\mathfrak{A}}{A(\varepsilon' + 7\varepsilon'')} \left(\frac{n}{\mathfrak{N}}\right)^2.$$

Il faut remarquer qu'avec la disposition nouvelle l'appareil de régulation ne pourra généralement rétablir la vitesse de régime qu'à la suite d'une période d'ouverture.

6. Les quantités $\frac{n}{\mathfrak{N}}$, z', z'', σ et μ n'étant jamais définies d'une manière absolument précise, on dispose d'une latitude assez considérable pour en fixer la valeur, et l'on peut ainsi, au besoin, modifier l'appareil suivant les exigences particulières que l'on a à satisfaire.

A ce point de vue, on peut également être conduit à hésiter entre diverses solutions présentant chacune certains avantages; mais ce sont là des difficultés sur lesquelles le calcul n'a aucune prise.

Toutefois, pour éviter des tâtonnements inutiles, il est indispensable de rechercher, d'une manière générale, quels sont les résultats que l'on peut obtenir pratiquement dans les différentes circonstances, et il est particulièrement nécessaire de connaître les limites que l'on ne peut pas dépasser dans une installation ordinaire.

Ce sont ces limites que nous allons indiquer tout d'abord.

L'action régulatrice obtenue à l'aide d'un régulateur quelconque dépend principalement de la sensibilité et de la puissance de l'appareil à boules; il faut donc fixer préalablement les limites pratiques de ces deux quantités.

Dans les installations d'usines à poudre que nous avons en vue, on ne peut pas compter sur une sensibilité de l'appareil en question plus grande que 1,5 pour 100, et nous prendrons comme limite inférieure de σ ce chiffre de $\frac{1,5}{100}$ (1).

Quant à la puissance de l'appareil à boules, qui est donnée par la formule (2) (chap. I, § 7),

$$\Phi = \frac{K_{\mathfrak{A}}}{\frac{v}{\mathfrak{N}} - \sigma},$$

(1) Si l'on dépassait cette limite, il faudrait avoir recours à des appareils trop délicats pour être placés dans ces usines.

elle n'a pas de limite bien nettement définie, et l'on peut théoriquement la supposer aussi grande que l'on veut.

Il faut cependant dans la pratique que l'appareil à boules ne soit pas hors de proportion avec les efforts K_M qu'il a à vaincre.

Pour ne pas être conduit à des dimensions exagérées, on ne peut guère prendre Φ supérieur à 200 K_M; nous regarderons donc le chiffre de 200 comme la limite supérieure du rapport $\frac{\Phi}{K_M}$ ou, ce qui revient au même, $\frac{1}{200}$ comme la limite inférieure de $\frac{v}{\mathfrak{N}} - \sigma$.

En dehors de ces deux quantités, sensibilité et puissance de l'appareil à boules, il y a encore lieu de considérer la valeur attribuée au coefficient de sécurité μ.

Ce coefficient est introduit dans les formules en vue de tenir compte des variations accidentelles qui peuvent survenir dans les éléments que ces formules supposent invariables.

Étant donnée l'amplitude ordinaire des variations dont il s'agit, on ne saurait descendre pour la valeur de μ au-dessous de 2.

7. Nous considérons donc, en définitive, comme *appareils limites,* ceux pour lesquels

$$\mu = 2,$$

$$\sigma = \frac{1,5}{100},$$

$$\frac{v}{\mathfrak{N}} = \frac{2}{100},$$

$$\Phi = 200\,K_M,$$

et nous supposons que les vitesses de vannage de ces appareils sont calculées en vue de l'état moyen de la machine, c'est-à-dire à l'aide de la relation

$$\frac{v}{\mathfrak{N}} = \frac{2}{\mu}\,\frac{\mathfrak{L}_m}{\Lambda_m(\varepsilon' + 7\varepsilon'')}\left(\frac{n}{\mathfrak{N}}\right)^2,$$

où $\mathfrak{L}_m$, Λ_m désignent les valeurs de $\mathfrak{L}$, Λ correspondant à l'état moyen.

Les effets ainsi obtenus qui représentent le maximum d'action régulatrice que l'on puisse atteindre dans les circonstances ordi-

naires seront déterminés par les formules

$$z' = \frac{\dfrac{\rho x^2}{200\,\dfrac{n^2}{\mathfrak{N}^2}\,\dfrac{\varepsilon'}{\varepsilon' + 7\varepsilon''}}}{1 + \dfrac{x^2}{200\,\dfrac{n^2}{\mathfrak{N}^2}\,\dfrac{\varepsilon'}{\varepsilon' + 7\varepsilon''}}},$$

$$z'' = \frac{\dfrac{\rho x^2}{200\,\dfrac{n^2}{\mathfrak{N}^2}\,\dfrac{\varepsilon''}{\varepsilon' + 7\varepsilon''}}}{1 + \dfrac{\rho x^2}{200\,\dfrac{n^2}{\mathfrak{N}^2}\,\dfrac{\varepsilon''}{\varepsilon' + 7\varepsilon''}}}.$$

Dans ces formules, le coefficient ρ représente le rapport des valeurs de $\frac{\mathfrak{A}}{\Lambda}$ correspondant à l'état de régime qui succède à la perturbation considérée et à l'état de régime moyen de la machine; il a pour valeur approchée (1)

$$\rho = \frac{\mathfrak{R}^2}{\mathfrak{R}_m^2}\,\frac{2}{1 + \dfrac{\mathfrak{R}}{\mathfrak{R}_m}}.$$

Quant à la valeur relative de cette perturbation, elle a pour expression

$$x = \frac{\mathfrak{R} - \mathfrak{R}_0}{\mathfrak{R}}.$$

Dans ces deux dernières relations $\mathfrak{R}_0$ représente la résistance avant la perturbation, $\mathfrak{R}$ la résistance dans l'état de régime nouveau qui doit s'établir à la suite de la perturbation et $\mathfrak{R}_m$ la résistance correspondant à l'état de régime moyen.

En appliquant ces formules au cas où la résistance, égale en moyenne à

$$\frac{\mathfrak{R}_1 + \mathfrak{R}_2}{2}$$

varie brusquement de $\mathfrak{R}_1$ à $\mathfrak{R}_2$, on obtient pour les valeurs extrêmes, que peut atteindre la vitesse de la machine, les nombres indiqués dans les tableaux ci-dessous où la vitesse moyenne de

(1) Voir *Appendice*, Note III.

régime est représentée par 100.

1° $\left\{ \begin{array}{l} \frac{n}{\mathfrak{N}} = \frac{10}{100}; \\ \text{Zone de régime : } 95^t \text{ à } 105^t. \end{array} \right.$

RAPPORT des résistances extrêmes.	DIMINUTION maxima de résistance à craindre.	VITESSES EXTRÊMES QUE PEUT ATTEINDRE LA MACHINE. $\frac{\varepsilon'}{\varepsilon''} = 2$		$\frac{\varepsilon'}{\varepsilon''} = 6$		$\frac{\varepsilon'}{\varepsilon''} = 9$	
		maxima.	minima.	maxima.	minima.	maxima.	minima.
$\frac{80}{100}$	$\frac{20}{100}$	115	78	111	71	108	68
$\frac{75}{100}$	$\frac{25}{100}$	122	69	114	62	112	57
$\frac{70}{100}$	$\frac{30}{100}$	129	61	118	52	115	47
$\frac{65}{100}$	$\frac{35}{100}$	//	//	123	43	118	39
$\frac{60}{100}$	$\frac{40}{100}$	//	//	128	36	124	31

2° $\left\{ \begin{array}{l} \frac{n}{\mathfrak{N}} = \frac{15}{100}; \\ \text{Zone de régime : } 92^t,5 \text{ à } 107^t,5. \end{array} \right.$

RAPPORT des résistances extrêmes.	DIMINUTION maxima de résistance à craindre.	VITESSES EXTRÊMES QUE PEUT ATTEINDRE LA MACHINE. $\frac{\varepsilon'}{\varepsilon''} = 2$		$\frac{\varepsilon'}{\varepsilon''} = 6$		$\frac{\varepsilon'}{\varepsilon''} = 9$	
		maxima.	minima.	maxima.	minima.	maxima.	minima.
$\frac{80}{100}$	$\frac{20}{100}$	112	84	110	80	109	77
$\frac{75}{100}$	$\frac{25}{100}$	116	79	112	73	111	70
$\frac{70}{100}$	$\frac{30}{100}$	120	74	114	67	113	63
$\frac{65}{100}$	$\frac{35}{100}$	124	68	117	59	116	55
$\frac{60}{100}$	$\frac{40}{100}$	130	62	121	52	118	47
$\frac{55}{100}$	$\frac{45}{100}$	//	//	125	44	122	41
$\frac{50}{100}$	$\frac{50}{100}$	//	//	128	38	126	35

Ces tableaux suffisent pour faire connaître l'effet utile que l'on peut obtenir dans les différentes circonstances et pour indiquer la valeur des principaux éléments qu'il convient de choisir dans chaque cas.

8. Il est bon de remarquer ici que, pour diminuer l'amplitude totale des variations de vitesse de la machine, il ne faut pas toujours resserrer les limites de la zone de régime.

Dès que les perturbations atteignent une certaine grandeur, il est avantageux, au contraire, d'augmenter l'étendue de cette zone, c'est-à-dire de diminuer le degré d'isochronisme de l'appareil à boules.

Mais il n'est pas possible de donner à $\frac{n}{\mathfrak{N}}$ une valeur supérieure à $\frac{15}{100}$ ou $\frac{16}{100}$, et l'appareil pour lequel $\frac{n}{\mathfrak{N}} = \frac{15}{100}$ et $\frac{\varepsilon'}{\varepsilon''} = 9$ doit être considéré comme le plus énergique que l'on puisse employer dans la pratique.

Dans ces conditions, une diminution brusque de $\frac{1}{4}$ dans la résistance produira un accroissement de vitesse d'environ 11 pour 100, une diminution de $\frac{1}{3}$ portera cet accroissement de vitesse à 15 pour 100, et une diminution de moitié donnera un accroissement de vitesse qui pourra s'élever à près de 26 pour 100.

Si donc on regarde comme une limite que l'on ne doit point dépasser un écart de vitesse de 20 à 25 pour 100, on voit que l'appareil même le plus énergique sera encore insuffisant quand les diminutions brusques de résistance atteindront la moitié de la résistance totale.

Ainsi, dans le cas d'un moteur actionnant deux paires de meules à poudre, dont la marche est réglée à 10 tours par minute, il ne sera généralement pas possible d'empêcher la vitesse des meules d'atteindre 12 tours si l'une d'elles est débrayée brusquement, et, au moment du plus grand écart, cette vitesse s'approchera de 12 tours et demi.

Toutes ces conclusions n'ont rien d'absolu, puisque les formules sur lesquelles elles reposent sont calculées en vue d'une sorte d'état moyen commun aux différents moteurs hydrauliques.

Les résultats peuvent varier dans une certaine mesure, suivant la nature du moteur et les dispositions particulières de la commande.

Mais, à moins d'une étude plus approfondie ou d'expériences spéciales, il ne serait pas prudent, en général, de compter sur une efficacité plus grande.

9. Dans tout ce qui précède, nous avons uniquement considéré les variations brusques du travail résistant.

Il y a évidemment d'autres causes de perturbation contre lesquelles l'appareil de régulation est appelé à réagir, comme, par exemple, les variations de niveau résultant de la mise en marche ou de l'arrêt des usines voisines.

Mais les effets de ces variations sont moins intenses et se font sentir moins rapidement; aussi l'appareil de régulation, quel qu'il soit, est-il généralement suffisant pour parer aux inconvénients qui peuvent en résulter.

On peut, d'ailleurs, tenir compte d'une façon suffisante de ces variations lentes, en supposant que les modifications auxquelles elles correspondent sont produites instantanément, ce qui exagère l'intensité de la perturbation qui en résulte et la fait rentrer dans le cas précédemment étudié.

Ainsi, dans l'exemple cité plus haut, on admettra que la variation de niveau s'est produite en totalité et brusquement.

Le changement qui en résulte pour la hauteur de chute et le débit fera connaître la perturbation éprouvée par l'état de régime.

Si, pour fixer les idées, on considère une roue de côté recevant l'eau par une vanne noyée de $0^m,60$, et si l'on suppose que le niveau d'amont puisse s'élever de $0^m,20$, il en résultera pour la vitesse d'écoulement de l'eau et, par suite, pour le débit un accroissement de $\frac{15}{100}$ environ, et, comme le rendement n'aura pas changé bien sensiblement, l'effet sera à peu près le même que celui d'une diminution de $\frac{15}{115}$, soit de $\frac{13}{100}$ dans la résistance.

10. En ce qui concerne l'agencement même du mécanisme destiné à communiquer au vannage des vitesses différentes, suivant le sens dans lequel il marche, il convient de distinguer deux cas :

Quand le rapport des vitesses de fermeture et d'ouverture ne dépasse pas 2,5, il suffit de produire le changement de marche à l'aide des doubles pignons d'angle employés dans les machines-outils pour les mouvements dits à retour rapide.

Quand le rapport des vitesses de fermeture et d'ouverture dépasse 2,5, l'emploi des doubles pignons d'angle conduirait à des mécanismes présentant des proportions inusitées, et il est préférable d'établir un équipage de roues dentées supplémentaire, comme l'indique la *Pl. II.*

Comme détail d'installation, il est bon de remarquer qu'il convient de munir d'un cliquet le pignon qui commande le mouvement d'ouverture, afin que ce pignon reste en repos pendant la fermeture; sinon, en raison même de la grande différence de vitesse de ces deux mouvements, la poulie d'ouverture prendrait alors une vitesse extrêmement grande qui pourrait déterminer des grippements.

11. Les développements précédents permettent de se rendre compte de la grandeur des variations de vitesse que l'on doit craindre dans les différents cas, mais ne fournissent aucune donnée sur la durée des périodes d'action du régulateur pendant lesquelles se produisent les plus grands écarts de vitesse.

C'est là un élément d'appréciation toujours bon à connaître, qui devient même indispensable lorsqu'il est impossible de ramener les variations de vitesse dans les limites que l'on s'est fixées tout d'abord (1), et il peut être nécessaire de les calculer, au moins d'une manière approchée.

On y arrive alors au moyen des formules

$$\lambda' = 2\,\frac{ab}{\varepsilon'}\,x, \tag{15}$$

$$\lambda'' = 2\,\frac{ab}{\varepsilon''}\,x, \tag{16}$$

où λ' et λ'' représentent les chemins parcourus par la machine pendant les périodes de fermeture et d'ouverture du vannage (2).

(1) Dans ce cas, en effet, la durée des périodes de plus grand trouble peut seule donner une idée des inconvénients que présenteront les écarts de vitesse que l'on est obligé de tolérer.

(2) Dans les appareils à fermeture rapide, le chemin parcouru par la vanne pendant la première période de fermeture est à peu près double de celui qu'il faudrait faire parcourir à la vanne pour rétablir l'état de régime.

Quant au chemin parcouru par la vanne pendant la première période d'ouverture, il a une valeur moindre, et la formule (16) doit être considérée comme fournissant une limite supérieure de λ''.

12. Dans les appareils limites que nous avons considérés plus haut et pour des résistances variant brusquement de $\mathcal{R}_1$ à $\mathcal{R}_2$, les formules (15) et (16) se mettent sous la forme

$$\lambda' = 2\,\frac{\mathcal{R}_2 - \mathcal{R}_1}{\mathcal{R}_m}\,\frac{\frac{\nu}{\mathcal{H}}}{\frac{n^2}{\mathcal{H}^2}}\left(1 + 7\,\frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}\right)\Lambda_m,$$

$$\lambda'' = 2\,\frac{\mathcal{R}_2 - \mathcal{R}_1}{\mathcal{R}_m}\,\frac{\frac{\nu}{\mathcal{H}}}{\frac{n^2}{\mathcal{H}^2}}\left(\frac{\varepsilon'}{\varepsilon''} + 7\right)\Lambda_m,$$

et l'on obtient pour $\frac{\lambda'}{\Lambda_m}$ et $\frac{\lambda''}{\Lambda_m}$ les valeurs indiquées dans les tableaux ci-dessous :

1° $\frac{n}{\mathcal{H}} = \frac{10}{100}$.

RAPPORT des résistances extrêmes.	DIMINUTION maxima de résistance.	$\frac{\varepsilon'}{\varepsilon''} = 2$		$\frac{\varepsilon'}{\varepsilon''} = 6$		$\frac{\varepsilon'}{\varepsilon''} = 9$	
		$\frac{\lambda'}{\Lambda_m}$.	$\frac{\lambda''}{\Lambda_m}$.	$\frac{\lambda'}{\Lambda_m}$.	$\frac{\lambda''}{\Lambda_m}$.	$\frac{\lambda'}{\Lambda_m}$.	$\frac{\lambda''}{\Lambda_m}$.
$\frac{80}{100}$	$\frac{20}{100}$	4	8	1,9	11	1,6	14
$\frac{75}{100}$	$\frac{25}{100}$	5,2	10	2,5	15	2	18
$\frac{70}{100}$	$\frac{30}{100}$	6,4	13	3	18	2,5	22
$\frac{65}{100}$	$\frac{35}{100}$	7,6	15	3,7	22	3	27
$\frac{60}{100}$	$\frac{40}{100}$	9	18	4,3	26	3,5	31

2° $\frac{n}{\mathfrak{N}} = \frac{15}{100}$.

RAPPORT des résistances extrêmes.	DIMINUTION maxima de résistance.	$\frac{\varepsilon'}{\varepsilon''} = 2$		$\frac{\varepsilon'}{\varepsilon''} = 6$		$\frac{\varepsilon'}{\varepsilon''} = 9$	
		$\frac{\lambda'}{\Lambda_m}$.	$\frac{\lambda''}{\Lambda_m}$.	$\frac{\lambda'}{\Lambda_m}$.	$\frac{\lambda''}{\Lambda_m}$.	$\frac{\lambda'}{\Lambda_m}$.	$\frac{\lambda''}{\Lambda_m}$.
$\frac{80}{100}$	$\frac{20}{100}$	1,8	3,6	0,8	5,2	0,7	6,3
$\frac{75}{100}$	$\frac{25}{100}$	2,3	4,6	1,1	6,6	0,9	8,1
$\frac{70}{100}$	$\frac{30}{100}$	2,8	5,6	1,4	8,1	1,1	10
$\frac{65}{100}$	$\frac{35}{100}$	3,4	6,8	1,6	9,6	1,3	12
$\frac{60}{100}$	$\frac{40}{100}$	4	8	1,9	11,5	1,6	14
$\frac{55}{100}$	$\frac{45}{100}$	4,6	9,2	2,2	13	1,9	17
$\frac{50}{100}$	$\frac{50}{100}$	5,4	10,8	2,6	15	2,1	19

Ces tableaux suffisent pour qu'on puisse se rendre compte de la durée des périodes de plus grand trouble.

Ainsi, en reprenant l'exemple d'une usine double à meules, où Λ_m correspond à 1 tour de meules, on voit que les deux usines étant en marche normale à 10 tours par minute, si l'on débraye brusquement l'une d'elles, la période de fermeture, pendant laquelle la vitesse pourra dépasser 12 tours, correspondra à 2 tours de meules seulement, si l'on prend un appareil limite où $\frac{n}{\mathfrak{N}}$ soit égal à $\frac{15}{100}$.

CHAPITRE IV.

APPLICATION A UN GROUPE D'USINES A POUDRE.

1. Considérons un groupe formé de trois usines à poudre mues par une roue unique, et supposons que, la vitesse de régime du moteur étant comprise entre $9^t,5$ et $10^t,5$ par minute, il s'agisse d'installer un appareil de régulation qui empêche cette vitesse de dépasser 12^t quand l'une quelconque de ces trois usines est débrayée brusquement ou, ce qui revient au même, quand, par suite d'une cause quelconque, la résistance de l'une des usines se trouve supprimée, les deux autres restant en marche.

Nous admettons, en outre, que ces arrêts brusques de l'une des usines sont assez peu fréquents pour qu'il n'y ait pas lieu de se préoccuper des ralentissements momentanés qui se produiront quand l'usine débrayée est remise en marche.

En admettant que la force absorbée par chacune des usines soit de 6 chevaux et que la transmission générale en consomme 3, la diminution de résistance résultant du débrayage d'une usine est de $\frac{20}{100}$ environ, et l'on doit avoir, en outre, $\frac{n}{\mathfrak{N}} = \frac{10}{100}$.

Les tableaux donnés plus haut montrent que le résultat cherché sera atteint aisément en employant un appareil à fermeture rapide dans lequel $\varepsilon' = 9\varepsilon''$.

Il serait même possible de prendre le rapport $\frac{\varepsilon'}{\varepsilon''}$ moindre que 9.

Mais on serait conduit ainsi à un appareil à boules plus lourd, et, puisqu'on admet que les ralentissements momentanés de la machine n'ont pas d'inconvénients, nous supposerons $\varepsilon' = 9\varepsilon''$.

La vitesse maxima admissible étant de 12 tours, x' sera égal à $\frac{12-10,5}{10}$, soit à $\frac{15}{100}$.

Quant à la valeur relative de la perturbation x, elle est égale à $\frac{6}{21-6}$, soit à 0,40.

On a ainsi, en vertu de la formule (13),

$$\frac{\mathcal{L}}{\Lambda\varepsilon'} = 4\,\frac{x'}{1-x'}\,\frac{1}{x^2} = 4{,}4.$$

On a, en outre, en vertu de la formule (12), où l'on fera $\mu = 2$,

$$\frac{\nu}{\mathcal{N}} = \frac{\mathcal{L}}{\Lambda\varepsilon'}\,\frac{\frac{n^2}{\mathcal{N}^2}}{1+7\,\frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}} = 4{,}4\,\frac{\left(\frac{10}{100}\right)^2}{1+\frac{7}{9}} = \frac{2{,}5}{100}.$$

2. Pour achever de déterminer le mécanisme de commande du vannage, nous supposerons que l'ouverture moyenne de la vanne est de 180^{mm} et que l'effort nécessaire pour la déplacer est de 400^{kg}. Nous admettrons, en même temps, que si l'arrivée de l'eau est brusquement supprimée, le moteur peut encore faire $\frac{3}{4}$ de tour avant de s'arrêter (1).

Nous aurons ainsi

$$\mathcal{L} = 180^{mm}$$

et

$$\Lambda = 0{,}75,$$

et puisque $\frac{\mathcal{L}}{\Lambda\varepsilon'}$ est égal à $4{,}4$, il faut que ε' ait pour valeur 55,

$$\varepsilon' = \frac{1}{4{,}4}\,\frac{\mathcal{L}}{\Lambda} = 55.$$

Le mécanisme de commande devra donc être tel qu'il fasse avancer la vanne de 55^{mm} par tour du moteur, quand il s'agit de la fermer, et de 6^{mm} quand il s'agit de l'ouvrir.

Le travail consommé par seconde pour cette manœuvre sera de

$$400 \times \frac{0{,}055}{6} = 3^{kg}{,}6 \text{ pour la fermeture (2)}$$

(1) Dans cet exemple, comme dans tous les autres, nous avons pris des données numériques aussi rapprochées que possible des conditions moyennes de la pratique.

(2) Si le travail exigé par la fermeture était plus considérable, il serait bon de diminuer cette résistance en faisant peser sur la vanne un contrepoids qui tende à la fermer.

On pourra ainsi, tout en restant dans des limites pratiques, réduire de moitié la résistance à la fermeture.

Le travail nécessaire à l'ouverture sera augmenté d'autant; mais, comme il est beaucoup plus faible par suite de la réduction de vitesse, cela ne présentera aucun inconvénient.

et

$$400 \times \frac{0,006}{6} = 0^{kg},4 \text{ pour l'ouverture.}$$

L'ensemble des dispositions adoptées pour réaliser les conditions que nous venons de déterminer est indiqué sur la *Pl. II.*

Le changement de marche du mécanisme de commande est obtenu par le déplacement d'une courroie C actionnant un système de trois poulies p_1, p_2, p_3 et la réduction de vitesse par de simples trains de roues dentées.

Nous admettrons que les frottements de ce mécanisme augmenteront à peu près de moitié les efforts nécessaires pour déplacer la vanne, et que le travail à demander à la courroie motrice pour la fermeture sera de $5^{kg},4$,

$$3,6 \times 1,5 = 5,4.$$

3. Quant à l'appareil à boules, comme il se trouve, par sa situation, un peu exposé à l'humidité, il sera prudent de ne pas compter sur une sensibilité trop grande, et nous supposerons que la caractéristique σ de la sensibilité de cet appareil, considéré en lui-même, ne pourra pas descendre au-dessous de $\frac{1,75}{100}$,

$$\sigma = \frac{1,75}{100}.$$

Ces quantités étant ainsi fixées, les formules données au chapitre I permettront d'achever la détermination des éléments de l'appareil de régulation.

En faisant marcher la courroie à la vitesse de 1^m et lui faisant transmettre un effort de $1^{kg},5$ par centimètre de largeur, il faudra lui donner une largeur de 36^{mm},

$$l = \frac{1,5}{0,15} = 36^{mm}.$$

Si l'on écarte, en outre, les poulies de $1^m,50$ environ, on pourra évaluer à $1^{kg},10$ l'effort total de la fourchette nécessaire pour embrayer, puis pour débrayer le mécanisme de commande (1),

$$K_l = \frac{3}{100} l = 1^{kg},10.$$

En supposant les déplacements du manchon égaux aux $\frac{2}{3}$ de

(1) Voir note, chap. II, § 5.

ceux de la fourchette, on aura

$$K_M = \tfrac{3}{5} K_l = 1^{kg},60,$$

et la puissance de l'appareil à boules devra être de 213^{kg},

$$\Phi = \frac{K_M}{\frac{v}{\mathfrak{N}} - \sigma} = \frac{1,60}{\frac{0,75}{100}} = 213.$$

Prenant, comme précédemment, $M = 3B$, on aura, puisque $\Phi = 2M + B$,

$$M = \tfrac{2}{7}\Phi = 91^{kg},5,$$
$$B = \tfrac{1}{7}\Phi = 30^{kg},5.$$

Quant à la longueur des tiges, elle sera de 480^{mm},

$$L = \frac{C_M}{C_l} \frac{\frac{15}{100} l}{\frac{v}{\mathfrak{N}} - \sigma} = \frac{40}{3} l = 480,$$

et les boules devront faire 119 révolutions par minute,

$$\mathfrak{N}_2 = \frac{2600}{\sqrt{L}} = 119.$$

Enfin, la course totale de la courroie, nécessaire pour l'engager complètement sur les poulies fixes, sera de 208^{mm},

$$C_l = \tfrac{1}{5} l \left(\frac{\frac{n}{\mathfrak{N}}}{\frac{v}{\mathfrak{N}} - \sigma} + 4 \right) = \frac{52}{9} l = 208$$

et la largeur de la poulie folle de 172^{mm},

$$G = \tfrac{1}{5} l \left(\frac{\frac{n}{\mathfrak{N}}}{\frac{v}{\mathfrak{N}} + 1} + 1 \right) = \frac{43}{9} l = 172.$$

La *Pl. II* indique les détails de l'installation.

4. La vitesse du vannage se règlera au besoin en changeant soit un couple d'engrenage, soit le tambour de commande des trois poulies contiguës p_1, p_2, p_3 et le degré d'isochronisme, en dépla-

çant la bielle mobile *b* qui relie le levier de manœuvre à la fourchette.

Le mécanisme de sûreté présente une disposition analogue à celle indiquée précédemment, et, pour pouvoir manœuvrer la vanne à la main, il suffit d'agir sur le mouvement de crémone qui débraye à la fois les deux pignons d'angle recevant le mouvement de la courroie mobile.

Enfin, l'arbre intermédiaire qui produit le mouvement d'ouverture de la vanne est relié au pignon qui le commande par un cliquet, de façon à rester au repos pendant la fermeture.

CHAPITRE V.

DONNÉES ET FORMULES RELATIVES AUX APPAREILS A FORCE CENTRIFUGE.

1. Nous avons vu, dans les chapitres précédents, que l'appareil à boules à employer dans chaque cas se trouvait déterminé par sa puissance Φ et par la course C_M du manchon, et nous avons donné les formules qui permettent de déduire de ces deux quantités les autres éléments : longueur des tiges, poids des boules et poids du manchon.

Il nous reste à démontrer ces formules et à indiquer les dispositions qu'il convient d'apporter pour les appareils dont il s'agit.

Le choix du système d'appareil à force centrifuge que l'on emploie dans un mécanisme de régulation à action indirecte peut être regardé comme indifférent.

Tous ces appareils fonctionneront sensiblement de la même manière, s'ils donnent les mêmes valeurs aux quantités que nous avons désignées par $\frac{n}{\mathfrak{N}}$ et $\frac{v}{\mathfrak{N}}$, c'est-à-dire s'ils fournissent le même degré d'isochronisme et s'ils possèdent la même énergie.

Mais, comme la sensibilité propre de l'appareil à boules influe directement sur l'effet utile qu'il produit, il y a généralement avantage à employer des appareils sensibles ou faciles à rendre tels et, par conséquent, d'une construction simple.

Nous nous bornerons donc à examiner le système le plus simple qui est donné par le type Porter, désigné aussi sous le nom de *régulateur américain*.

2. Le dispositif adopté est celui indiqué sur la *fig.* 1.

Il comporte un manchon pesant M, soutenu par deux bielles B, C articulées sur le centre même des boules B.

La longueur des bielles BC est égale à la longueur des tiges AB, et les points d'articulation inférieurs C des bielles sont à la même distance de l'axe que les points de suspension A des boules; l'ensemble forme ainsi un système isoscèle, et l'on a entre les lignes de la figure les relations

$$(1) \qquad \begin{cases} AB = BC, \\ AA = CC. \end{cases}$$

Les montées du manchon sont dès lors doubles de celles des boules, et une application facile du théorème du travail virtuel montre que, si l'on néglige les masses des diverses tiges et si l'on suppose les boules sphériques, la vitesse d'équilibre correspondant à une position déterminée de l'appareil est donnée par la formule (1)

$$(2) \qquad N^2 = \frac{890000}{S}\,\frac{2M + B}{B},$$

où N désigne le nombre de révolutions par minute de l'axe de rotation; S la sous-normale bS exprimée en millimètres, c'est-à-dire la distance du point S où le prolongement des tiges A, B rencontre l'axe de rotation au plan horizontal parcouru par le centre B des boules; M le poids du manchon exprimé en kilogrammes, et B le poids de l'ensemble des deux boules également exprimé en kilogrammes (2).

---

(1) Cette formule est un cas particulier de celles données dans les *Éléments de construction de machines* de C. Unwin. (*Appendice,* Note III, par M. H. Léauté.)

(2) Si l'on tient compte de la masse des tiges articulées et que l'on désigne par T leur poids total, par m la distance des points d'articulation A, C à l'axe de

3. Cette formule suppose que le manchon ne supporte aucun effort extérieur; si le manchon supporte, au contraire, une pression F, elle doit être remplacée par

$$N^2 = \frac{890000}{S}\,\frac{2(M+F)+B}{B}. \tag{3}$$

Il résulte de là que l'appareil étant en équilibre dans une position déterminée et le manchon ne supportant aucune pression, si la vitesse de rotation N éprouve une petite variation relative δ, c'est-à-dire si elle devient égale à $N(1+\delta)$, il faudra, pour maintenir l'appareil dans sa position, exercer sur le manchon une pression f, telle que

$$N^2(1+2\delta) = \frac{890000}{S}\,\frac{2(M+F)+B}{B}.$$

En rapprochant cette relation de l'équation (1), on en tire, pour la valeur de f,

$$f = (2M+B)\delta. \tag{4}$$

Or la pression f représente précisément l'effort que le manchon exerce sur le levier de manœuvre quand la vitesse éprouve une variation δ : le rapport $\frac{f}{\delta}$ est donc ce que nous avons appelé

---

rotation, par X la distance des centres des boules au même axe, et si l'on suppose la masse des tiges uniformément répartie sur les lignes AB et BC, il faut remplacer la formule (2) par la suivante,

$$N^2 = \frac{890000}{S}\,\frac{2M+B+T}{B+\frac{T}{3}+\frac{m}{X}\frac{l}{6}}.$$

Le seul terme variable que renferme le second facteur est le terme $\frac{m}{T}\frac{T}{6}$; mais on vérifie sans peine qu'avec les proportions ordinaires l'influence de ses variations est extrêmement négligeable et que l'on peut réduire l'expression de N^2 à

$$N^2 = \frac{890000}{S}\,\frac{2M+B+T}{B+K\frac{T}{3}},$$

K étant un coefficient voisin de l'unité.

La vitesse d'équilibre N varie donc, à très peu près, proportionnellement à $\frac{1}{\sqrt{S}}$, comme l'indique la formule (2), et l'emploi de cette formule réduite n'a d'autre conséquence que de changer un peu la valeur absolue de la vitesse moyenne, ce qui est sans inconvénient dans la pratique. (Voir chap. II, § 8.)

la *puissance* de l'appareil à boules dans la position que l'on considère, et il vient

$$\Phi = 2M + B. \tag{5}$$

4. Les formules qui précèdent ne supposent aucune relation particulière de grandeur entre la distance des points de suspension des boules A, A et la longueur des tiges A, B.

Le rapport de ces deux lignes est arbitraire dans une certaine mesure; il est bon cependant, pour la facilité de la construction, que la distance AA ne soit pas trop petite, afin d'éviter que les axes A, A ne viennent couper l'axe de rotation de l'appareil, ce qui conduirait à des formes de pièces plus compliquées.

On obtient un écartement convenable de ces points de suspension en prenant

$$AA = \tfrac{3}{10} L, \tag{6}$$

L désignant la longueur commune des tiges articulées.

En adoptant cette proposition et calculant les valeurs de N à l'aide de la formule (2), un tracé graphique très simple montre que, pendant une grande partie de la course du manchon, la vitesse d'équilibre varie, à très peu près, proportionnellement à la hauteur Z de ce manchon.

On peut ainsi calculer cette vitesse par la formule suivante, linéaire en Z,

$$N = \frac{980}{\sqrt{L}}\left(1 + 0{,}45\,\frac{Z}{L}\right)\sqrt{\frac{2M + B}{B}},$$

où L est évalué en millimètres.

La position moyenne, à partir de laquelle on compte les Z dans cette dernière formule, est celle pour laquelle la distance AC des points d'articulation du manchon aux centres de suspension des boules est égale à une fois et demie la longueur des tiges,

$$(AC)_{moy} = H = \tfrac{3}{4} L. \tag{8}$$

La vitesse d'équilibre correspondant à cette position moyenne s'obtient en faisant $Z = 0$ dans la formule (7) et a pour valeur

$$\mathfrak{N}_0 = \frac{980}{\sqrt{L}}\sqrt{\frac{2M + B}{B}}. \tag{9}$$

La formule (7) peut être employée tant que Z ne dépasse pas $\frac{3}{8}$ L en valeur absolue ou, en d'autres termes, depuis $Z = -\frac{3}{8}L$ jusqu'à $Z = +\frac{3}{8}L$: la portion de course pendant laquelle la vitesse d'équilibre varie proportionnellement au déplacement du manchon est ainsi de $\frac{3}{4}$ L.

Les vitesses d'équilibre correspondant à ces positions extrêmes ont respectivement pour valeur $0,93\,\mathfrak{N}_B$ et $1,17\,N_B$; elles diffèrent ainsi de $\frac{1}{3}$ environ, et il n'y aura jamais lieu, dans la pratique, de prolonger la course du manchon au delà de ces limites.

Sous cette réserve, la formule (7) donne une approximation de $\frac{1}{100}$ environ.

5. Le rapprochement des relations (7) et (9) fournit, pour la valeur de la vitesse d'équilibre correspondant à une hauteur Z du manchon, l'expression

$$N = \mathfrak{N}_B\left(1 + 0,45\,\frac{Z}{L}\right). \tag{10}$$

Il résulte de là qu'une variation n dans la vitesse de l'appareil correspond à un déplacement du manchon C égal à $100\,\frac{n}{\mathfrak{N}_B}\,\frac{L}{45}$,

$$C = \frac{L}{45} \times 100\,\frac{n}{\mathfrak{N}_B}. \tag{11}$$

On peut dire ainsi que chaque variation de $\frac{1}{100}$ dans la vitesse correspond à un déplacement du manchon égal à $\frac{1}{45}$ de la longueur des tiges.

Quant à la vitesse $\mathfrak{N}_B$, relative à la position moyenne du manchon, elle varie, toutes choses égales d'ailleurs, avec le poids de ce manchon.

La formule (9) différentiée donne, en supposant le poids des boules invariable,

$$\frac{d\mathfrak{N}_B}{\mathfrak{N}_B} = \frac{dM}{\Phi} = \frac{dM}{2M + B}, \tag{12}$$

et l'on voit par là que, pour augmenter ou diminuer cette vitesse de $\frac{1}{100}$, il suffit d'augmenter ou de diminuer le poids du manchon de $\frac{1}{100}(2M + B)$ environ.

Cette règle approximative suffira pour opérer, sans difficulté, le réglage de la vitesse moyenne de régime.

6. Nous avons laissé jusqu'ici le rapport $\frac{M}{B}$ complètement arbitraire.

On peut, dans une certaine mesure, le choisir à volonté.

Toutefois, si l'on prend pour $\frac{M}{B}$ une valeur trop faible, l'appareil exige, pour une puissance donnée, des boules trop lourdes et des tiges trop longues, et il devient encombrant; si, au contraire, on prend une valeur trop forte, on est conduit à des vitesses de rotation exagérées.

On évite, généralement, ces deux inconvénients en assignant à $\frac{M}{B}$ une valeur comprise entre 2 et 4.

Nous prendrons, par suite, $\frac{M}{B}$ égal à 3, et nous allons indiquer les éléments d'une série d'appareils à force centrifuge remplissant cette condition.

Les formules relatives à cette série d'appareils sont les suivantes

$$\frac{M}{B} = 3, \tag{13}$$

$$B = \tfrac{1}{7}\Phi, \tag{14}$$

$$M = \tfrac{3}{7}\Phi, \tag{15}$$

$$\mathfrak{N}_s = \frac{2600}{\sqrt{L}}, \tag{16}$$

$$\frac{d\mathfrak{N}_s}{\mathfrak{N}_s} = \frac{1}{7}\frac{dM}{B} = \frac{3}{7}\frac{dM}{M}, \tag{17}$$

auxquelles il convient de joindre les formules (10) et (11),

$$N = \mathfrak{N}_s\left(1 + 0{,}45\,\frac{Z}{L}\right), \tag{10}$$

$$C = \frac{L}{45} \times 100\,\frac{n}{\mathfrak{N}_s}. \tag{11}$$

Pour chaque longueur de tiges, il n'y a plus ainsi d'autre indéterminée que le poids des boules; mais il n'y a pas de motifs pour supprimer cette indétermination en établissant une relation entre ces deux sortes de quantités.

Il est préférable, au contraire, de se réserver une marge assez grande dans le choix de ces éléments, et il suffit de connaître les

limites entre lesquelles il convient de se tenir pour éviter soit des difficultés d'exécution, soit une disproportion choquante entre la grosseur des boules et la longueur des tiges.

Le tableau suivant indique ces limites :

Longueur des tiges L.....		200mm	300mm	400mm	500mm
Distance des points de suspension des boules.....		60mm	90mm	120mm	150mm
Vitesse moyenne d'équilibre $\mathfrak{N}_0$..		184t	150t	130t	117t
Course du manchon pour une différence de $\frac{1}{100}\mathfrak{N}_0$ dans les vitesses extrêmes.....		4mm,4	6mm,7	8mm,9	11mm,1
Poids des deux boules B.	minima.	4kg,5	8kg	18kg	22kg
	maxima.	9kg	24kg	72kg	110kg
Poids du manchon M...	minima.	13kg,5	24kg	54kg	66kg
	maxima.	27kg	72kg	216kg	330kg
Puissance Φ.....	minima.	30kg,5	56kg	125kg	154kg
	maxima.	63kg	168kg	504kg	770kg

L'examen de ce tableau permettra de voir, presque sans calcul, quel est l'appareil à force centrifuge qu'il convient d'adopter dans chaque cas.

7. Dans la pratique, les plus grands écarts de vitesse qu'il y ait lieu de considérer pour l'appareil à boules sont inférieurs à 20 pour 100 (1).

Il suffit donc que la course du manchon corresponde à un écart de 20 pour 100 entre les vitesses d'équilibre extrêmes.

Cette course devra, par suite, être égale, en vertu de la formule (11), à $\frac{20}{45}$ de L, soit à

$$\frac{4}{9}\,L,$$

(1) En prenant comme exemple l'appareil de régulation décrit au chapitre II, la course totale de la courroie correspond à un écart de vitesse égal à $\frac{n}{\mathfrak{N}}+4\left(\frac{\nu}{\mathfrak{N}}-\sigma\right)$, les plus grandes valeurs de $\frac{n}{\mathfrak{N}}$ et $\frac{\nu}{\mathfrak{N}}$ étant respectivement de $\frac{15}{100}$ et de $\frac{1}{100}$ environ, le plus grand écart de vitesse à considérer est de $\frac{19}{100}$, soit 20 pour 100 en nombre rond.

c'est-à-dire que le manchon devra pouvoir s'écarter de sa position moyenne de $\frac{2}{9}$ L.

Quant à la longueur du levier de manœuvre qui est actionné par le manchon et qui transmet ensuite cette action à l'organe de débrayage, il est bon de ne pas lui donner une valeur trop faible, afin d'éviter des efforts trop obliques qui peuvent amener des arcs-boutements.

Nous admettrons que sa longueur est égale à la longueur des tiges L.

Les inclinaisons maxima du levier de manœuvre ont alors pour valeur $\pm \frac{2}{9}$, et la flèche de l'arc décrit par l'extrémité en relation avec le manchon est de

$$\frac{(\frac{2}{9}\,L)^2}{2L} = \frac{2}{81}\,L,$$

soit de $\frac{1}{40}$ L environ.

Le déplacement relatif du manchon et de l'extrémité du levier de manœuvre est ainsi très faible, et l'on peut se borner à relier ces pièces par un simple collier embrassant le manchon et maintenu par deux tourillons fixés sur les branches du levier de manœuvre. Il suffit, pour permettre le mouvement, de donner au collier un jeu de $\frac{1}{40}$ L ou même de $\frac{1}{80}$ L, si l'on partage la différence en plaçant l'axe du levier de manœuvre à une distance de l'axe de rotation des boules égale à $(1 - \frac{1}{80})$L.

Comme, d'un autre côté, dans les appareils que nous avons en vue, la pression du manchon sur le collier est toujours très faible, on peut simplifier encore la construction et le montage en employant un collier ouvert, comme l'indique la *fig.* 1.

8. Les dispositions de l'appareil à boules marquées sur la *fig.* 1 supposent que la différence des vitesses d'ouverture et de fermeture du vannage s'obtient uniquement en faisant agir le manchon sur les organes d'embrayage correspondants en des points différents de sa course.

Si l'on admet maintenant que, pour éviter les oscillations des boules ou pour ne pas avoir à modifier la course du manchon, on dispose sur l'axe de rotation un contrepoids additionnel, comme l'indique la *fig.* 2, les formules (11) et (17) ne peuvent plus four-

nir que la différence des vitesses théoriques d'ouverture et de fermeture du vannage.

Il faut tenir compte, pour obtenir cette différence n, de l'action du poids additionnel M'' qui pèse sur le manchon M', quand celui-ci produit l'embrayage du mécanisme de fermeture.

Désignons, à cet effet, par c' le chemin que doit parcourir le manchon M' pour passer de la position où il produit l'embrayage d'ouverture à celle où il produit l'embrayage de fermeture; par n' la différence des vitesses d'équilibre correspondantes quand on suppose que le poids additionnel M'' ne pèse pas sur le manchon M', et par n'' la différence des vitesses d'équilibre correspondant à la position de fermeture produite par l'action de M''.

On a, en vertu de (11) et (12),

$$\frac{n'}{\mathfrak{N}_s} = \frac{45}{100}\frac{c'}{L}$$

et

$$\frac{n''}{\mathfrak{N}_s} = \frac{M''}{\Phi},$$

d'où

$$\frac{n'+n''}{\mathfrak{N}_s} = \frac{45}{100}\frac{c'}{L} + \frac{M''}{\Phi}.$$

On obtient ainsi la formule

$$\frac{n}{\mathfrak{N}_s} = \frac{45}{100}\frac{c'}{L} + \frac{M''}{\Phi}, \tag{18}$$

où il convient de prendre pour Φ la valeur moyenne

$$\Phi = 2M' + M'' + B. \tag{19}$$

En faisant, comme précédemment,

$$\frac{M' + \frac{M''}{2}}{B} = 3, \tag{20}$$

on a encore, pour la vitesse moyenne de régime, la valeur

$$\mathfrak{N}_s = \frac{2600}{\sqrt{L}}. \tag{16}$$

APPENDICE.

NOTE I.

SUR LA MESURE EXPÉRIMENTALE DE LA QUANTITÉ A.

1. Considérons une machine en mouvement.

L'accroissement de force vive sera à chaque instant représenté par la différence entre le travail résistant et le travail cédé au moteur par le fluide qui le traverse.

En faisant abstraction des inégalités périodiques de ce mouvement, et considérant simplement le mouvement moyen, la force vive sera proportionnelle au carré de la vitesse de la machine, et le travail moteur sera proportionnel, à la fois, à la quantité de fluide écoulé et au rendement; quant au travail résistant, on peut admettre, d'une manière générale, qu'il est proportionnel au chemin décrit (1).

L'équation du mouvement moyen de la machine sera donc de la forme

$$d(N^2) = P\varpi r\,dt - QN\,dt,$$

où

N représente la vitesse de la machine mesurée par le nombre de tours par minute de l'un des arbres de transmission :

ϖ la quantité de fluide qui traverse le moteur dans l'unité de temps;

r le rendement;

t le temps;

P, Q deux constantes.

En désignant par $\mathfrak{N}_0$, ϖ_0, r_0 les valeurs de N, ϖ, r, correspondant à l'état de régime où la vitesse ne varie point, on devra avoir

$$P\varpi_0 r_0 - Q\mathfrak{N}_0 = 0,$$

(1) *Voir*, à ce sujet, H. Léauté, *Mémoire sur les oscillations à longues périodes*, chap. II, § 1 : Équations du mouvement simultané de la machine et de son vannage.

et l'équation primitive prendra la forme

$$d(N^2) = Q\left(\frac{\varpi r}{\varpi_0 r_0}\mathfrak{N}_0 - N\right)dt.$$

Si l'on suppose maintenant que, la machine marchant à sa vitesse de régime $\mathfrak{N}_0$, on supprime brusquement l'arrivée du fluide moteur, ce qui revient à faire $\varpi = 0$, l'équation du mouvement devient

$$d(N^2) = -QN\,dt,$$

et, si l'on désigne par A le nombre de tours décrit, jusqu'à l'arrêt complet, on a

$$\mathfrak{N}_0^2 = Q\int_{N=\mathfrak{N}_0}^{N=0} N\,dt = QA.$$

L'équation générale du mouvement moyen de la machine peut donc s'écrire finalement

$$d(N^2) = \frac{\mathfrak{N}_0^2}{A}\left(\frac{\varpi r}{\varpi_0 r_0}\mathfrak{N}_0 - N\right)dt$$

ou

$$\frac{dN}{dt} = \frac{\mathfrak{N}_0^2}{2A}\left(\frac{\varpi r \mathfrak{N}_0}{\varpi_0 r_0 N} - 1\right),$$

et, dans cette dernière expression, le premier terme de la parenthèse $\frac{\varpi r \mathfrak{N}_0}{\varpi_0 r_0 N}$ représente, à un facteur constant près, la pression exercée par le fluide sur le moteur.

2. Ces préliminaires posés, nous allons étudier le mouvement que prend une machine, lorsque, étant dans son état de régime défini par $\mathfrak{N}_0$, ϖ_0, r_0, on vient à fermer la vanne.

Nous admettrons que la vitesse de fermeture de la vanne est sensiblement constante, et que l'opération est faite assez rapidement pour être terminée avant l'arrêt complet de la machine.

Nous aurons ainsi deux périodes distinctes à considérer : la période dans laquelle la vanne se ferme, et celle pendant laquelle la vanne est entièrement fermée.

1° *Période pendant laquelle la vanne se ferme.* — La vanne ayant une vitesse à peu près constante, si l'on désigne par T_1 la durée de cette première période, l'ouverture de vanne, qui diminue proportionnellement au temps, se trouvera réduite, au bout du temps t, dans le rapport $\frac{T_1 - t}{T_1}$, soit $1 - \frac{t}{T_1}$.

Si donc on désigne par φ le rapport entre la quantité de fluide utilisé et l'ouverture de la vanne à l'époque t, et par φ_0 la valeur de φ au commencement de la période, c'est-à-dire à l'époque $t = 0$, on aura

$$\frac{\varpi}{\varpi_0} = \left(1 - \frac{t}{T_1}\right)\frac{\varphi}{\varphi_0},$$

et, par suite,

$$\frac{dN}{dt} = \frac{\mathfrak{N}_0^2}{2A}\left[\left(1 - \frac{t}{T_1}\right)\frac{\varphi r \mathfrak{N}_0}{\varphi_0 r_0 N} - 1\right],$$

où le facteur $\frac{\varphi r \mathfrak{N}_0}{\varphi_0 r N}$, d'abord égal à l'unité, ne devient jamais infini, non plus que sa dérivée, puisque la pression du fluide sur le moteur ne peut jamais dépasser un certain maximum et que, dans tous les cas, elle varie d'une manière continue.

L'accélération $\frac{dN}{dt}$ est donc nulle au début, et devient égale à $-\frac{\mathfrak{N}_0^2}{2A}$, à la fin de la période.

En différentiant l'équation précédente, on obtient

$$\frac{d^2N}{dt^2} = \frac{\mathfrak{N}_0^2}{2A}\left[\left(1 - \frac{t}{T_1}\right)\frac{d\frac{\varphi r \mathfrak{N}_0}{\varphi_0 r_0 N}}{dN}\frac{dN}{dt} - \frac{1}{T_1}\frac{\varphi r \mathfrak{N}_0}{\varphi_0 r_0 N}\right],$$

et l'on voit que $\frac{d^2N}{dt^2}$ est égal à $-\frac{1}{T_1}\frac{\mathfrak{N}_0^2}{2A}$ pour $t = 0$ et à $-\frac{1}{T_1}\frac{\mathfrak{N}_0^2}{2AN_1}\frac{r_1\varphi_1}{r_0\varphi_0}$ pour $t = T_1$, N_1, φ_1, r_1 désignant les valeurs correspondantes de N, φ et r.

On connaît ainsi les valeurs de $\frac{dN}{dt}$ et de $\frac{d^2N}{dt^2}$ correspondant à $t = 0$ et $t = T_1$, et, en appliquant à cet intervalle la formule de Stirling,

$$\int_x^{x+h} f(x)\,dx = hf(x) + \frac{h}{2}\Delta f(x) - \frac{h^2}{12}\Delta f'(x) + \frac{h^4}{720}\Delta f^{IV}(x), \quad \ldots$$

limitée à ses trois premiers termes, on en déduit, puisque

$$N_1 = N_0 + \int_0^{T_1}\frac{dN}{dt}\,dt,$$

$$N_1 = \mathfrak{N}_0 - \frac{T_1}{2}\frac{\mathfrak{N}_0^2}{2A}\left(\frac{7}{6} - \frac{1}{6}\frac{\mathfrak{N}_0 r_1 \varphi_1}{N_1 r_0 \varphi_0}\right). \tag{1}$$

Si l'on appelle λ_1 le nombre de tours décrit par la machine pendant que la vanne se ferme, on aura de même

$$\lambda_1 = \int_0^{t_1} N\,dt,$$

et, par suite,

$$\lambda_1 = T_1 \frac{\mathfrak{M}_0 + \mathfrak{M}_1}{2} + \frac{T_1^2}{12} \frac{N_0^2}{2A}. \tag{2}$$

2° *Période de fermeture complète.* — L'arrivée du fluide moteur étant interceptée, on aura

$$\frac{dN}{dt} = -\frac{\mathfrak{M}_0^2}{2A},$$

et N, d'abord égal à N_1, sera nul à la fin de la période.

En appelant donc T_2 la durée de cette période, et λ_2 le nombre de tours décrits par la machine pendant ce temps, on déduit de la relation précédente

$$N_1 = \frac{\mathfrak{M}_0^2}{2A} T_2, \tag{3}$$

$$\lambda_2 = \frac{\mathfrak{M}_0^2}{2A} \frac{T_2^2}{2}. \tag{4}$$

3. Les relations (1), (2), (3), (4) fournissent quatre équations entre les six quantités A, λ_1, λ_2, T_1, T_2 et N_1; elles permettront donc de calculer A dès que l'on connaîtra deux quelconques des quatre λ_1, λ_2, T_1, T_2; on choisira ces deux quantités de façon qu'il soit facile de les mesurer expérimentalement.

Au point de vue de l'exactitude de l'expérience, il est préférable de mesurer λ_1 et λ_2, en raison de la difficulté qu'il peut y avoir, quand le mouvement devient très lent, à saisir le moment où il convient de regarder la machine comme arrêtée.

Le terme $\frac{\varphi r \mathfrak{M}_0}{\varphi_0 r_0 N}$ dépend, en partie, du genre de moteur que l'on a à considérer; mais, dans les cas ordinaires de la pratique, il remplit un ensemble de conditions qui permettent de le déterminer, avec une exactitude suffisante, sans qu'il soit nécessaire de spécifier la nature du moteur.

Ainsi, dans la généralité des cas, la quantité d'eau qui traverse le moteur est proportionnelle à l'ouverture de la vanne; de sorte que $\frac{\varphi}{\varphi_0}$ peut être pris égal à l'unité. D'un autre côté, dans les conditions normales de marche, le rendement maximum au début de la première période s'abaisse à mesure que la vitesse diminue, de façon qu'une diminution de $\frac{1}{2}$ dans cette vitesse en produit une de $\frac{1}{3}$ à $\frac{1}{5}$ environ dans le rendement pour une ouverture moyenne de la vanne.

Il faut remarquer, en outre, que $\frac{\varphi r}{\varphi_0 r_0}$, qui décroît à la fois avec la vitesse et avec l'ouverture de vanne quand celle-ci descend au-dessous d'une certaine limite, devient très petit dans le cas extrême où l'ouverture de vanne et la vitesse sont toutes deux très petites.

On voit donc que la fonction

$$\left(2-\frac{N_1}{\mathcal{H}_0}\right)\frac{N_1}{\mathcal{H}_0}$$

reproduit assez bien la marche générale de $\frac{\varphi_1 r_1}{\varphi_0 r_0}$ et que l'on peut prendre

$$\frac{\mathcal{H}_0 r_1 \varphi_1}{N_1 r_0 \varphi_0} = 2-\frac{N_1}{\mathcal{H}_0}.$$

C'est la formule que nous emploierons, et nous remplacerons l'équation (1) par

$$N_1 = \mathcal{H}_0 - \frac{T_1}{12}\frac{\mathcal{H}_0^2}{2A}\left(5+\frac{N_1}{\mathcal{H}_0}\right), \tag{5}$$

d'où l'on tire

$$t_1 = 12\mathcal{H}_0 \frac{1-\frac{N_1}{\mathcal{H}_0}}{\frac{\mathcal{H}_0^2}{2A}\left(5+\frac{N_1}{\mathcal{H}_0}\right)};$$

et, comme

$$\lambda_1 = t_1\frac{\mathcal{H}_0+N_1}{2}+\frac{t_1^2}{12}\frac{\mathcal{H}_0^2}{2A},$$

on en déduit

$$\lambda_1 = 12A\frac{1-\frac{N_1}{\mathcal{H}_0}}{5+\frac{N_1}{\mathcal{H}_0}}\left(1+\frac{N_1}{\mathcal{H}_0}+2\frac{1-\frac{N_1}{\mathcal{H}_0}}{5+\frac{N_1}{\mathcal{H}_0}}\right)$$

ou encore

$$\frac{\lambda_1}{A} = 12\frac{7-3\frac{N_1}{\mathcal{H}_0}-3\frac{N_1^2}{\mathcal{H}_0^2}-\frac{N_1^3}{\mathcal{H}_0^3}}{\left(5+\frac{N_1}{\mathcal{H}_0}\right)^2}, \tag{6}$$

et cette équation, combinée avec (4), que l'on peut écrire

$$\frac{\lambda_2}{A} = \frac{N_1^2}{\mathcal{H}_0^2}, \tag{7}$$

permet de calculer les valeurs correspondantes de $\frac{\lambda_1}{A}$ et de $\frac{\lambda_2}{A}$.

On peut donc obtenir la valeur de $\frac{A}{\lambda_1+\lambda_2}$, en fonction du rapport $\frac{\lambda_1}{\lambda_1+\lambda_2}$.

4. C'est de cette manière qu'a été formé le tableau numérique donné au chapitre I.

Nous avons pris une suite de valeurs pour $\frac{N_1}{\mathcal{H}_0}$, considéré ainsi comme variable indépendante; puis, avec les équations (6) et (7), nous avons calculé les rapports $\frac{\lambda_1}{A}$ et $\frac{\lambda_2}{A}$; nous en avons déduit $\frac{\lambda_1}{\lambda_1+\lambda_2}$ et $\frac{A}{\lambda_1+\lambda_2}$, et, en

traçant la courbe ayant pour coordonnées ces deux fractions, nous avons obtenu les valeurs de $\frac{\Lambda}{\lambda_1+\lambda_2}$ inscrites au tableau.

Ces valeurs présentent une exactitude suffisante pour le but que l'on a en vue.

Mais si, pour certaines recherches, les hypothèses admises ne paraissaient pas convenablement remplies et que l'on cherchât une précision plus grande, on pourrait toujours considérer la valeur donnée par le tableau comme une première approximation et s'en servir pour évaluer plus exactement le terme $\frac{\varphi r \mathfrak{N}_0}{\varphi_0 r_0 N}$, de façon à obtenir une nouvelle valeur plus approchée de l'inconnue.

D'une manière générale, au point de vue de l'exactitude du résultat, il y a avantage à rendre $\frac{\lambda_1}{\lambda_1+\lambda_2}$ petit, c'est-à-dire à fermer la vanne aussi rapidement que possible, et l'on peut alors prendre pour Λ la valeur $\lambda_2+\frac{\lambda_1}{2}$, que l'on obtient en négligeant les quantités d'un ordre de petitesse supérieur à celui de $\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$.

L'influence des variations de rendement du moteur se trouve, en effet, presque annulée quand la période de fermeture devient très courte, et les formules se rapprochent davantage de la réalité.

NOTE II.

SUR LA CONDITION DE NON-OSCILLATIONS DANS LES APPAREILS A FERMETURE RAPIDE.

1. On sait que, dans le cas où le mécanisme de commande du vannage est disposé de façon à rendre la fermeture plus rapide que l'ouverture, la condition à satisfaire pour la non-production des oscillations à longues périodes est fournie par les relations

$$\frac{n}{\mathfrak{N}}+\frac{2}{3}\frac{\nu}{\mathfrak{N}}+\frac{2}{3}Z>\sqrt{\frac{4\Lambda\varepsilon''}{\mathcal{A}}\left(\frac{\nu}{\mathfrak{N}}+Z\right)},$$

$$\frac{n}{\mathfrak{N}}+\frac{2}{3}\frac{\nu}{\mathfrak{N}}+\frac{2}{3}Z=\sqrt{\frac{4\Lambda\varepsilon'}{\mathcal{A}}\frac{\nu}{\mathfrak{N}}}-\sqrt{\frac{4\Lambda\varepsilon''}{\mathcal{A}}Z}.$$

Les valeurs limites, que ne doivent point dépasser les divers éléments de l'appareil de régulation pour éviter les oscillations à longues périodes, sont donc données par les deux équations simultanées

$$(1) \qquad \frac{n}{\mathfrak{M}} + \frac{2}{3}\frac{\nu}{\mathfrak{M}} + \frac{2}{3}Z = \sqrt{\frac{4\Lambda\varepsilon''}{\mathfrak{L}}\left(\frac{\nu}{\mathfrak{M}} + Z\right)},$$

$$(2) \qquad \frac{n}{\mathfrak{M}} + \frac{2}{3}\frac{\nu}{\mathfrak{M}} + \frac{2}{3}Z = \sqrt{\frac{4\Lambda\varepsilon'}{\mathfrak{L}}\frac{\nu}{\mathfrak{M}}} - \sqrt{\frac{4\Lambda\varepsilon''}{\mathfrak{L}}}Z,$$

où Z doit être considéré comme un paramètre auxiliaire (1).

A partir d'un système de valeurs des cinq quantités $\frac{n}{\mathfrak{M}}$, $\frac{\nu}{\mathfrak{M}}$, $\frac{\Lambda}{\mathfrak{L}}$, ε' et ε'' satisfaisant aux équations (1) et (2), l'état d'oscillations apparaît si, laissant fixes quatre de ces quantités, on diminue $\frac{n}{\mathfrak{M}}$ ou si l'on augmente $\frac{\nu}{\mathfrak{M}}$ (2), $\frac{\Lambda}{\mathfrak{L}}$, ε' et ε''.

Par suite, étant donné un système de valeurs

$$\mathfrak{M}_0, \quad n_0, \quad \nu_0, \quad \Lambda_0, \quad \mathfrak{L}_0, \quad \varepsilon'_0, \quad \varepsilon''_0$$

des indéterminées, satisfaisant à ces relations, l'état d'oscillation ne sera pas à craindre si les valeurs réelles

$$\mathfrak{M}, \quad n, \quad \nu, \quad \Lambda, \quad \mathfrak{L}, \quad \varepsilon', \quad \varepsilon''$$

de ces quantités sont telles qu'aucune des différences

$$\frac{n}{\mathfrak{M}} - \frac{n_0}{\mathfrak{M}_0},$$

$$\frac{\nu_0}{\mathfrak{M}_0} - \frac{\nu}{\mathfrak{M}},$$

$$\frac{\Lambda_0}{\mathfrak{L}_0} - \frac{\Lambda}{\mathfrak{L}},$$

$$\varepsilon'_0 - \varepsilon',$$

$$\varepsilon''_0 - \varepsilon''$$

ne soit négative et que l'une d'elles au moins soit positive.

---

(1) H. Léauté, *Mémoire sur les oscillations à longues périodes.*

Les relations écrites sont les formules de la page 109 du *Mémoire* quand on suppose δ égal à δ'; Ω, $U + \delta$, ρ, δ représentés en nombre de tours par $\mathfrak{M}$, n, Λ, ν; et quand on pose $\frac{\varepsilon_2}{\Omega} = Z$.

(2) Dans l'équation (1), le rapport $\frac{\nu}{\mathfrak{M}}$ étant toujours très petit (il est compris, en général, entre $\frac{2}{100}$ et $\frac{4}{100}$), le terme $\sqrt{\frac{\nu}{\mathfrak{M}}}$ du deuxième membre est d'un ordre de grandeur plus élevé.

Inversement, si l'on considère un système quelconque de valeurs des quantités

$$\mathfrak{M},\quad n,\quad \nu,\quad \Lambda,\quad \mathfrak{L},\quad \varepsilon',\quad \varepsilon'',$$

on sera assuré qu'il permet la régulation, si l'on peut former un système limite

$$\mathfrak{M}_0,\quad n_0,\quad \nu_0,\quad \Lambda_0,\quad \mathfrak{L}_0,\quad \varepsilon'_0,\quad \varepsilon''_0,$$

tel que les différences

$$\frac{n}{\mathfrak{M}} - \frac{n_0}{\mathfrak{M}_0},$$

$$\frac{\nu_0}{\mathfrak{M}_0} - \frac{\nu}{\mathfrak{M}},$$

$$\frac{\Lambda_0}{\mathfrak{L}_0} - \frac{\Lambda}{\mathfrak{L}},$$

$$\varepsilon'_0 - \varepsilon',$$

$$\varepsilon''_0 - \varepsilon''$$

remplissent la condition ci-dessus.

La grandeur absolue de ces différences donne en même temps une mesure du degré de sécurité sur lequel on peut compter.

Le système limite qui doit servir de terme de comparaison peut toujours être obtenu très simplement, en ne faisant varier qu'une seule des cinq quantités $\frac{n}{\mathfrak{M}}$, $\frac{\nu}{\mathfrak{M}}$, $\frac{\Lambda}{\mathfrak{L}}$, ε', ε'', et prenant pour les quatre autres les mêmes valeurs que dans le système primitif.

En faisant ce calcul successivement pour chacune des cinq quantités en question, on obtiendra les variations qu'elles peuvent éprouver, toutes choses égales d'ailleurs, sans que l'état d'oscillations apparaisse, et l'on aura, dès lors, une idée nette de la manière dont se comportera l'appareil de régulation établi d'après ces bases.

2. La double relation (1) et (2), indiquée plus haut, peut ainsi suffire pour l'étude d'une installation quelconque.

Il est cependant plus commode pour les applications de la ramener à la même forme que dans le cas des appareils ordinaires, où les vitesses relatives de fermeture et d'ouverture du vannage sont identiques.

Dans ce cas, ε' étant égal à ε'', les équations (1) et (2) donnent

$$\sqrt{\frac{\nu}{\mathfrak{M}} + Z_0} = \sqrt{\frac{\nu}{\mathfrak{M}}} - \sqrt{Z_0},$$

en désignant par Z_0 la valeur du paramètre Z dans ce cas particulier.

On en conclut que Z_0 est nul, et les équations (1) et (2) se réduisent à une seule,

$$\frac{n}{\mathfrak{M}} + \frac{2}{3}\frac{\nu}{\mathfrak{M}} = \sqrt{\frac{4A\varepsilon}{\mathcal{A}}\frac{\nu}{\mathfrak{M}}}. \tag{3}$$

Si donc on considère l'appareil de régulation à vitesses égales qui correspond aux mêmes valeurs de $\mathfrak{M}$, n, ν, A et $\mathcal{A}$, et si l'on désigne par ε la valeur commune que prennent alors ε' et ε'', les équations (1) et (2) pourront s'écrire

$$1 + \frac{Z}{\frac{\nu}{\mathfrak{M}} + \frac{3}{2}\frac{n}{\mathfrak{M}}} = \sqrt{\frac{\varepsilon''}{\varepsilon}\left(1 + \frac{Z}{\frac{\nu}{\mathfrak{M}}}\right)}, \tag{4}$$

$$1 + \frac{Z}{\frac{\nu}{\mathfrak{M}} + \frac{3}{2}\frac{n}{\mathfrak{M}}} = \sqrt{\frac{\varepsilon'}{\varepsilon}} - \sqrt{\frac{\varepsilon'}{\varepsilon}\frac{Z}{\frac{\nu}{\mathfrak{M}}}}. \tag{5}$$

On voit, par ces équations, que le seul paramètre Z, ou plus exactement $\frac{Z}{\frac{\nu}{\mathfrak{M}}}$, fixe le rapport $\frac{\varepsilon'}{\varepsilon''}$ des deux vitesses de vannage, et que, si l'on se donne, en outre, le rapport $\frac{\nu}{n}$, les rapports $\frac{\varepsilon'}{\varepsilon}$ et $\frac{\varepsilon''}{\varepsilon}$ en résultent immédiatement.

On en déduit, en effet,

$$\sqrt{\frac{\varepsilon'}{\varepsilon''}} = \sqrt{1 + \frac{Z}{\frac{\nu}{\mathfrak{M}}}} + \sqrt{\frac{Z}{\frac{\nu}{\mathfrak{M}}}}, \tag{6}$$

$$\sqrt{\frac{\varepsilon''}{\varepsilon}} = \frac{1 + \frac{Z}{\frac{\nu}{\mathfrak{M}} + \frac{3}{2}\frac{n}{\mathfrak{M}}}}{\sqrt{1 + \frac{Z}{\frac{\nu}{\mathfrak{M}}}}}, \tag{7}$$

$$\sqrt{\frac{\varepsilon'}{\varepsilon}} = \left(1 + \frac{Z}{\frac{\nu}{\mathfrak{M}} + \frac{3}{2}\frac{n}{\mathfrak{M}}}\right)\left\{1 + \sqrt{\frac{\frac{Z}{\frac{\nu}{\mathfrak{M}}}}{1 + \frac{Z}{\frac{\nu}{\mathfrak{M}}}}}\right\}. \tag{8}$$

On peut ainsi établir aisément la Table à double entrée, qui donne $\frac{\varepsilon'}{\varepsilon}$ et $\frac{\varepsilon''}{\varepsilon}$ en fonction de $\frac{\varepsilon'}{\varepsilon''}$ et de $\frac{n}{\nu}$.

3. Il faut maintenant examiner entre quelles limites peuvent varier les diverses quantités figurant dans ces équations.

Les formules données supposent que Z reste assez petit.

Cela ne constitue point, toutefois, une hypothèse restrictive, puisque, dans la pratique, une valeur de Z un peu forte serait inadmissible.

Z représente, en effet, dans l'état limite que nous considérons, la plus petite des variations de vitesse que le régulateur permet en dehors de la zone de régime, pendant les périodes d'ouverture.

Pour que ces sortes de variations n'atteignent pas, dans la pratique, une valeur exagérée, il est nécessaire que Z reste petit.

En ce qui concerne les autres quantités, on peut admettre, étant donné le degré de sensibilité des appareils à boules, que $\frac{v}{\mathfrak{M}}$ ne peut pas descendre au-dessous de $\frac{1,5}{100}$, et qu'il doit osciller entre $\frac{1,5}{100}$ ou $\frac{2}{100}$ et $\frac{3}{100}$ ou $\frac{4}{100}$ au plus.

Et quant à $\frac{n}{\mathfrak{M}}$, qui mesure le degré d'isochronisme, il n'est guère possible de le prendre supérieur à $\frac{15}{100}$ ou $\frac{16}{100}$, ni inférieur à $\frac{6}{100}$ ou $\frac{8}{100}$.

Il est nécessaire, d'ailleurs, quand on veut s'approcher pour $\frac{n}{\mathfrak{M}}$ de ces dernières limites, de choisir pour $\frac{v}{\mathfrak{M}}$ ses plus petites valeurs.

Le champ de variation des diverses variables se trouve donc, en définitive, assez restreint, et, même dans le cas extrême que nous considérons, où les oscillations à longues périodes sont sur le point d'apparaître, $\frac{n}{v}$ pourra être regardé comme compris entre 4 et 10.

D'un autre côté, bien qu'il n'y ait théoriquement aucune limite à la rapidité de fermeture de la vanne, on n'en sera pas moins obligé de la restreindre dans la pratique, d'une part, pour ne point fatiguer outre mesure le vannage et, d'autre part, pour éviter de trop grands ralentissements pendant les périodes d'ouverture.

Il convient donc de ne pas exagérer la vitesse de fermeture et de la réduire autant que le permet le but à atteindre, qui est d'éviter des accroissements momentanés de vitesse trop considérables.

D'une manière générale, on peut admettre qu'en rendant cette vitesse quatre ou cinq fois plus grande que dans l'appareil ordinaire, ce qui réduit, presque dans la même proportion, les accroissements momentanés dont il vient d'être question, on aura satisfait à tous les besoins de la pratique.

On peut ainsi considérer le nombre 5 comme la limite extrême du rapport $\frac{\varepsilon'}{\varepsilon}$.

4. Dans ces conditions, les formules données plus haut sont pleinement applicables et fournissent le tableau suivant (1) :

$\frac{\varepsilon'}{\varepsilon''}$	$\frac{n}{\nu}$ = 4		6		8		10	
	$\frac{\varepsilon'}{\varepsilon}$	$\frac{\varepsilon''}{\varepsilon}$	$\frac{\varepsilon'}{\varepsilon}$	$\frac{\varepsilon''}{\varepsilon}$	$\frac{\varepsilon'}{\varepsilon}$	$\frac{\varepsilon''}{\varepsilon}$	$\frac{\varepsilon'}{\varepsilon}$	$\frac{\varepsilon''}{\varepsilon}$
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1,85	0,92	1,83	0,91	1,81	0,90	1,80	0,90
3	2,70	0,82	2,40	0,80	2,35	0,78	2,30	0,77
4	3,00	0,74	2,85	0,71	2,75	0,69	2,70	0,67
5	3,45	0,69	3,25	0,65	3,15	0,62	3,00	0,60
6	3,90	0,65	3,60	0,60	3,40	0,57	3,30	0,55
7	4,30	0,61	3,90	0,56	3,70	0,53	3,50	0,50
8	4,70	0,58	4,20	0,53	3,95	0,49	3,70	0,47
9	5,10	0,57	4,55	0,50	4,20	0,47	3,90	0,44
10	//	//	4,80	0,48	4,40	0,44	4,20	0,41
11	//	//	5,10	0,47	4,70	0,42	4,30	0,39
12	//	//	//	//	4,85	0,41	4,50	0,37
13	//	//	//	//	5,10	0,39	4,70	0,36
14	//	//	//	//	//	//	4,85	0,35
15	//	//	//	//	//	//	5,10	0,34

En reportant ces résultats sur un diagramme (*fig.* 3), où les abscisses représentent $\frac{\varepsilon''}{\varepsilon}$ et les ordonnées $\frac{\varepsilon'}{\varepsilon}$, on voit que les points correspondant aux divers systèmes de valeurs de ces quantités sont compris dans une sorte de triangle curviligne allongé, dont la direction moyenne est à peu près celle de la droite

$$\frac{1}{8}\frac{\varepsilon'}{\varepsilon} + \frac{7}{8}\frac{\varepsilon''}{\varepsilon} = 1.$$

On voit, en outre, que le triangle curviligne en question est compris

(1) Ce tableau a été obtenu en calculant $\frac{\varepsilon'}{\varepsilon}$, $\frac{\varepsilon''}{\varepsilon}$ et $\frac{\varepsilon'}{\varepsilon''}$ à l'aide des formules (6), (7) et (8) et faisant l'interpolation graphique qui donne $\frac{\varepsilon'}{\varepsilon}$ et $\frac{\varepsilon''}{\varepsilon}$ en fonction de $\frac{\varepsilon'}{\varepsilon''}$ et $\frac{n}{\nu}$.

presque tout entier entre les deux droites

$$\frac{1}{8}\frac{\varepsilon'}{\varepsilon}+\frac{7}{8}\frac{\varepsilon''}{\varepsilon}=1\pm\frac{1}{10}.$$

Fig. 3.

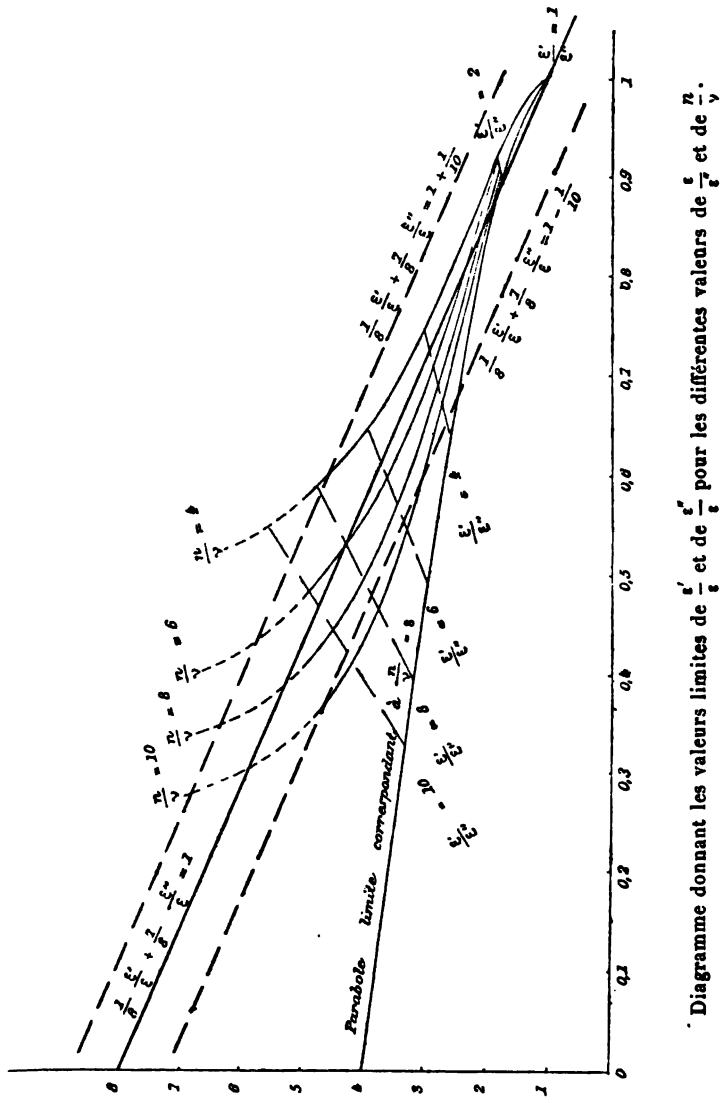


Diagramme donnant les valeurs limites de $\frac{\varepsilon'}{\varepsilon}$ et de $\frac{\varepsilon''}{\varepsilon}$ pour les différentes valeurs de $\frac{\varepsilon}{\varepsilon''}$ et de $\frac{n}{\nu}$.

Par conséquent, les valeurs utiles de $\frac{\varepsilon'}{\varepsilon}$ et $\frac{\varepsilon''}{\varepsilon}$ rendent la fonction

$\frac{1}{8}\frac{\varepsilon'}{\varepsilon}+\frac{7}{8}\frac{\varepsilon''}{\varepsilon}$ égale à 1, à $\frac{1}{10}$ près, et l'on peut ainsi, à ce degré d'approximation, remplacer les équations (7) et (8) par

$$\frac{1}{8}\frac{\varepsilon'}{\varepsilon}+\frac{7}{8}\frac{\varepsilon''}{\varepsilon}=1. \tag{9}$$

On doit remarquer, d'ailleurs, que l'approximation donnée par cette formule sera généralement supérieure au chiffre indiqué ci-dessus, lequel vise surtout les cas extrêmes.

En combinant les équations (9) et (3), de façon à éliminer la variable auxiliaire ε, on obtient

$$\frac{v}{\mathfrak{T}}=\frac{2\mathfrak{L}_0}{\Lambda(\varepsilon'+7\varepsilon'')}\left(\frac{n}{\mathfrak{T}}+\frac{2}{3}\frac{v}{\mathfrak{T}}\right)^2, \tag{10}$$

et l'on a ainsi ramené à une relation unique les conditions qui fixent les valeurs limites des divers éléments de l'appareil de régulation.

5. Il reste maintenant à déduire de là une équation capable de fournir pour ces éléments des valeurs susceptibles d'être adoptées avec sécurité dans les cas ordinaires de la pratique.

En se reportant à ce qui a été dit au début, on vérifie aisément que les valeurs satisfaisant à l'équation

$$\frac{v}{\mathfrak{T}}=\frac{2\mathfrak{L}_0}{\mu\Lambda(\varepsilon'+7\varepsilon'')}\left(\frac{n}{\mathfrak{T}}+\frac{2}{3}\frac{v}{\mathfrak{T}}\right)^2,$$

où μ désigne un coefficient supérieur à l'unité, ne permettront pas la production des oscillations à longues périodes.

Il en est de même pour l'équation plus simple

$$\frac{v}{\mathfrak{T}}=\frac{2\mathfrak{L}_0}{\mu\Lambda(\varepsilon'+7\varepsilon'')}\left(\frac{n}{\mathfrak{T}}\right)^2.$$

Les oscillations seront, d'ailleurs, d'autant moins à craindre que μ sera plus grand, puisqu'il résultera de plus grandes valeurs pour les différences

$$\frac{n}{\mathfrak{T}}-\frac{n_0}{\mathfrak{T}_0},\quad \frac{v_0}{\mathfrak{T}_0}-\frac{v}{\mathfrak{T}},\quad \frac{\Lambda_0}{\mathfrak{L}_0}-\frac{\Lambda}{\mathfrak{L}},\quad \varepsilon_0'-\varepsilon',\quad \varepsilon_0''-\varepsilon''.$$

Nous supposerons $\mu=2$, et nous adopterons finalement, comme équation pratique,

$$\frac{v}{\mathfrak{T}}=\frac{\mathfrak{L}_0}{\Lambda(\varepsilon'+7\varepsilon'')}\left(\frac{n}{\mathfrak{T}}\right)^2. \tag{11}$$

6. Le degré de sécurité qu'offre cette équation sera défini par le Tableau comparatif des valeurs qu'elle fournit et des valeurs limites données par (10).

Pour cette comparaison, on peut remplacer la formule (10) par l'équation plus simple

$$\frac{\nu}{\mathcal{N}} = \frac{2,5\mathcal{A}}{\Lambda(\varepsilon' + 7\varepsilon'')}\left(\frac{n}{\mathcal{N}}\right)^2,$$

formée en substituant à $1 + \frac{2}{3}\frac{\nu}{n}$ sa valeur moyenne.

En effectuant ce calcul, on obtient les résultats ci-dessous :

VALEUR PRATIQUE formée par (11) pour l'élément considéré.	VALEUR LIMITE du même élément à partir de laquelle les oscillations sont à craindre.
$\frac{n}{\mathcal{N}}$,	$0,63\,\frac{n}{\mathcal{N}}$,
$\frac{\nu}{\mathcal{N}}$,	$2,5\,\frac{\nu}{\mathcal{N}}$,
$\frac{\Lambda}{\mathcal{A}}$,	$2,5\,\frac{\Lambda}{\mathcal{A}}$,
$\varepsilon' + 7\varepsilon''$.	$2,5(\varepsilon' + 7\varepsilon'')$.

On voit par là que, toutes autres choses égales d'ailleurs, l'étendue de la zone de régime pourra être réduite de $\frac{1}{3}$, sans que les oscillations à longues périodes apparaissent.

On pourra, de même, augmenter l'une quelconque des autres quantités, dans le rapport de 2 à 5, sans provoquer ces oscillations.

Dans les installations ordinaires, $\frac{n}{\mathcal{N}}$ et $\varepsilon' + 7\varepsilon''$ restent constants, et il suffit de parer aux variations simultanées de $\frac{\nu}{\mathcal{N}}$ et de $\frac{\Lambda}{\mathcal{A}}$, qui atteignent rarement les chiffres donnés plus haut.

$\frac{\nu}{\mathcal{N}}$ dépend de l'état d'entretien et de graissage de l'appareil à boules et des organes qu'il est chargé de faire mouvoir; avec des soins convenables, on peut empêcher cette quantité de varier de plus de moitié et, par suite, d'augmenter de plus de $\frac{1}{4}$.

$\frac{\Lambda}{\mathcal{A}}$ peut donc encore s'accroître dans le rapport de 1 à 2.

Or, si l'on se rapporte à l'expression analytique de Λ, donnée au chapitre I, on voit que

$$\frac{\Lambda}{\mathcal{A}} = \frac{\frac{1}{2}\Sigma m v^2}{\mathcal{R}\mathcal{A}},$$

et, comme le travail résistant vaincu est généralement proportionnel à l'ouverture de la vanne, on en conclut que $\frac{\Lambda}{\mathcal{A}_0}$ varie à peu près comme

$$\frac{\frac{1}{2}\Sigma m v^2}{\mathcal{A}_0^2}.$$

Dès lors, en supposant $\frac{1}{2}\Sigma m v^2$ constant, une augmentation du simple au double pour $\frac{\Lambda}{\mathcal{A}_0}$ correspondra à une diminution de $1-\frac{1}{\sqrt{2}}$, soit de $\frac{1}{3}$ environ dans l'ouverture de la vanne, c'est-à-dire dans la résistance à vaincre.

Mais, en général, les diminutions de résistance proviennent du débrayage d'un certain nombre d'outils, de sorte que $\frac{1}{2}\Sigma m v^2$ diminue en même temps que $\mathcal{A}_0$, et l'on disposera, par suite, d'une latitude plus grande pour les variations de $\mathcal{A}_0$.

On pourra compter, en moyenne, sur une diminution possible de près de $\frac{1}{2}$ si, comme nous l'avons dit plus haut, l'appareil de régulation est convenablement installé.

NOTE III.

SUR LE CALCUL DES VARIATIONS MOMENTANÉES DE VITESSE.

1. Quand la résistance, surmontée par une machine, varie brusquement de $\mathcal{R}_0$ à $\mathcal{R}$, la variation maxima de vitesse qui en résulte, pendant la première période d'action du régulateur, est donnée par la formule approximative

$$z = \frac{\frac{\mathcal{A}_0}{4\Lambda\varepsilon}\left(\frac{\mathcal{R}-\mathcal{R}_0}{\mathcal{R}}\right)^2}{1+\frac{\mathcal{A}_0}{4\Lambda\varepsilon}\left(\frac{\mathcal{R}-\mathcal{R}_0}{\mathcal{R}}\right)^2},$$

qui peut s'écrire

$$\frac{z}{1-z} = \frac{\mathcal{A}_0}{4\Lambda\varepsilon}\left(\frac{\mathcal{R}-\mathcal{R}_0}{\mathcal{R}}\right)^2. \tag{1}$$

Dans cette formule, $\mathcal{A}_0$ et Λ doivent théoriquement se rapporter tous les deux à l'état de régime qui suit la perturbation.

Pratiquement, cette distinction est sans utilité si les perturbations ont

peu d'importance, et il est alors permis d'appliquer la formule en prenant simplement pour $\mathcal{A}$ et A leurs valeurs moyennes.

Mais, si l'on considère une machine pour laquelle la résistance varie entre des limites assez étendues, il devient utile de tenir compte, dans le calcul de z, des variations que peuvent subir $\mathcal{A}$ et A et de modifier en conséquence la formule ci-dessus.

Il faut, pour cela, exprimer comment varie $\frac{\mathcal{A}}{\Lambda}$ quand on passe d'un état de régime à un autre, chacun de ces états de régime étant d'ailleurs défini par la résistance vaincue.

En se reportant à l'expression analytique de A,

$$\Lambda = \frac{\frac{1}{2}\Sigma m v^2}{\mathcal{R}},$$

on peut écrire, en désignant par l'indice m les quantités qui se rapportent à l'état de régime $\mathcal{R}_m$,

$$\frac{\frac{\mathcal{A}}{\Lambda}}{\frac{\mathcal{A}_m}{\Lambda_m}} = \frac{\mathcal{A}\,\mathcal{R}}{\mathcal{A}_m \mathcal{R}_m}\,\frac{(\frac{1}{2}\Sigma m v^2)_m}{\frac{1}{2}\Sigma m v^2}.$$

L'ouverture de vanne étant généralement proportionnelle à la résistance vaincue, pour une machine marchant toujours à la même allure, cette relation devient

$$\frac{\frac{\mathcal{A}}{\Lambda}}{\frac{\mathcal{A}_m}{\Lambda_m}} = \frac{\mathcal{R}^2}{\mathcal{R}_m^2}\,\frac{(\frac{1}{2}\Sigma m v^2)_m}{\frac{1}{2}\Sigma m v^2},$$

et il reste seulement à étudier comment varie la force vive des masses en mouvement, quand on passe de l'état $\mathcal{R}$ à l'état $\mathcal{R}_m$.

2. Si l'on suppose, pour fixer les idées, qu'il y ait alors diminution de résistance, la perturbation produite provient soit du débrayage d'une machine-outil, soit de la suppression de la résistance que cette machine-outil doit surmonter.

Dans cette dernière hypothèse, la force vive des masses en mouvement n'a pas changé.

Mais, en dehors de ce cas limite, la diminution de résistance provenant du débrayage d'un outil qui possède toujours une certaine masse est accompagnée d'une diminution de la force vive totale.

La diminution de $\frac{1}{2}\Sigma m v^2$ est, toutefois, moins grande proportionnellement que celle de $\mathcal{R}$, en raison de la force vive que possèdent toujours

la transmission générale et le moteur, laquelle est considérable, eu égard à la force qu'elle consomme.

Dans la plupart des machines, en effet, la force vive du moteur et de la transmission générale est une fraction importante de la force vive totale, tandis que le travail nécessaire pour entretenir leur mouvement est une fraction relativement faible du travail total dépensé.

Il résulte de là que le rapport $\frac{\frac{1}{2}\Sigma m v^2}{(\frac{1}{2}\Sigma m v^2)_m}$ est, généralement, compris entre 1 et $\frac{\mathcal{R}}{\mathcal{R}_m}$.

Pour le but que nous avons en vue, il nous suffira de remplacer ce rapport variable par sa valeur moyenne $\frac{1}{2}\left(1+\frac{\mathcal{R}}{\mathcal{R}_m}\right)$, et nous écrirons, en conséquence,

$$\frac{\frac{\mathcal{A}}{\Lambda}}{\frac{\mathcal{A}_m}{\Lambda_m}} = \frac{\mathcal{R}^2}{\mathcal{R}_m^2}\,\frac{2}{1+\frac{\mathcal{R}}{\mathcal{R}_m}}. \tag{2}$$

3. Cela posé, considérons une machine munie d'un régulateur à fermeture rapide.

Si l'on suppose que la résistance tombe brusquement de $\mathcal{R}_2$ à $\mathcal{R}_1$, l'accroissement maximum de vitesse, qui se produira pendant la première période de fermeture, sera donné par

$$\frac{x'}{1-x'} = \frac{\mathcal{A}_1}{4\Lambda_1\varepsilon'}\left(\frac{\mathcal{R}_2-\mathcal{R}_1}{\mathcal{R}_1}\right)^2, \tag{3}$$

où $\mathcal{A}_1$ et Λ_1 sont les valeurs de $\mathcal{A}$ et Λ correspondant à l'état de régime défini par la résistance $\mathcal{R}_1$.

De même, si la résistance remonte ensuite brusquement de $\mathcal{R}_1$ à $\mathcal{R}_2$, le ralentissement maximum, produit pendant la première période d'ouverture, sera donné par

$$\frac{x''}{1-x''} = \frac{\mathcal{A}_2}{4\Lambda_2\varepsilon''}\left(\frac{\mathcal{R}_2-\mathcal{R}_1}{\mathcal{R}_2}\right)^2, \tag{4}$$

où $\mathcal{A}_2$ et Λ_2 se rapportent à l'état de régime $\mathcal{R}_2$.

Si nous désignons par $\mathcal{A}_m$, Λ_m les valeurs de $\mathcal{A}$ et Λ correspondant à l'état de régime moyen $\mathcal{R}_m$ défini par la relation

$$\mathcal{R}_m = \frac{\mathcal{R}_1+\mathcal{R}_2}{2}, \tag{5}$$

les équations (3) et (4) deviendront, en vertu de (2),

$$(6)\qquad \frac{z'}{1-z'} = \frac{\mathcal{A}_m}{4\Lambda_m \varepsilon'}\left(\frac{\mathcal{R}_2-\mathcal{R}_1}{\mathcal{R}_m}\right)^2 \frac{1}{1-\frac{1}{4}\dfrac{\mathcal{R}_2-\mathcal{R}_1}{\mathcal{R}_m}},$$

$$(7)\qquad \frac{z''}{1-z''} = \frac{\mathcal{A}_m}{4\Lambda_m \varepsilon''}\left(\frac{\mathcal{R}_2-\mathcal{R}_1}{\mathcal{R}_m}\right)^2 \frac{1}{1+\frac{1}{4}\dfrac{\mathcal{R}_2-\mathcal{R}_1}{\mathcal{R}_m}},$$

et ne contiendront plus d'autres valeurs de $\mathcal{A}$ et Λ que celles se rapportant à l'état moyen.

Ce sont ces formules qui ont servi à calculer le tableau donné au chapitre II pour les plus grands écarts de vitesse momentanés à craindre dans les machines dont la vitesse de régime doit toujours rester la même.

Paris, 31 décembre 1887.

RAPPORT

SUR LES

PROCÉDÉS ACTUELS DE RAFFINAGE

ET DE

FABRICATION DU SALPÊTRE

A LA RAFFINERIE DE BORDEAUX;

PAR

M. BIFFE,
Ingénieur en chef des poudres et salpêtres.

Dans un premier rapport, inséré, en 1882, au *Mémorial des Poudres et Salpêtres* (1), j'ai exposé les procédés rudimentaires employés à la raffinerie de Bordeaux, jusqu'à cette époque, pour la fabrication et le raffinage du salpêtre.

Encouragé par la Direction des poudres et salpêtres dans la voie des perfectionnements qui m'ont paru réalisables, malgré l'exiguïté de l'établissement, je me suis efforcé de tirer des bâtiments existants le meilleur parti possible, sans en modifier la disposition, et j'y ai introduit, en 1884 et 1885, un outillage à peu près entièrement nouveau, dont les avantages sont aujourd'hui sanctionnés par plus de trois années d'expérience.

(1) *Voir* 1, 158.

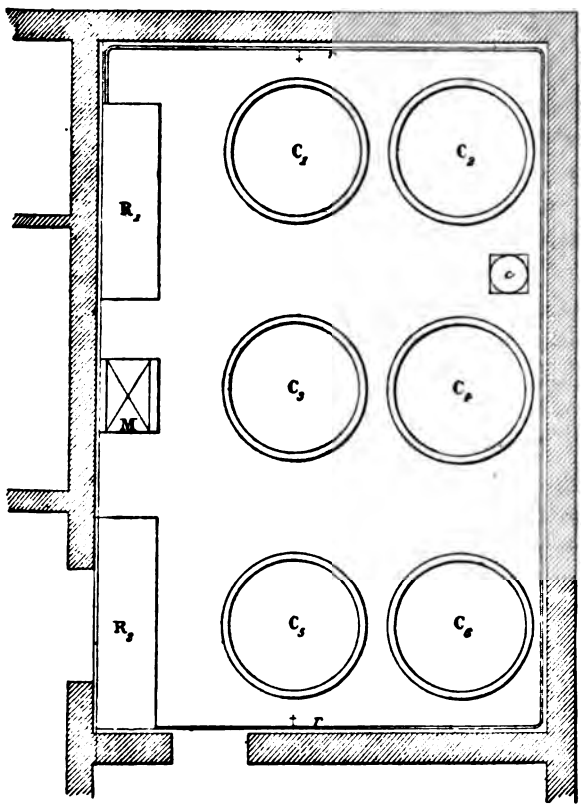
§ I.

TRANSFORMATION DE L'OUTILLAGE.

Il faut mentionner, en premier lieu, l'installation de 2 générateurs-Belleville de 50 chevaux, produisant la vapeur nécessaire, tant au chauffage des chaudières qu'à la marche, pour les opérations mécaniques, d'une machine de 14 chevaux.

En deuxième lieu, l'ancien atelier des chaudières a été divisé en 2 parties : étage et rez-de-chaussée. On y trouve (*fig.* 1) :

Fig. 1.



1° 6 chaudières en tôle C de $2^{m},50$ de diamètre, de forme hémisphérique, dépassant de $0^{m},15$ le plancher de l'étage, et por-

tées au-dessous par une charpente métallique, avec cornières en fer;

2° Un monte-charge M, mû mécaniquement, qui permet d'élever les matières du rez-de-chaussée à l'étage pour les déverser dans les chaudières;

3° A l'étage, 2 réservoirs en fonte R_1, R_2, de 60^{hlit} de capacité chacun, l'un pour les eaux surnageantes de raffinage, l'autre pour les eaux-mères de fabrication;

(Les 2 réservoirs, séparés par le monte-charge, occupent l'un des longs côtés du rectangle; par une rigole fixe horizontale *r*, en fonte, qui fait le tour de l'atelier sur les trois autres côtés, s'opère à volonté la répartition, au moyen de robinets, des eaux des réservoirs soit dans les chaudières, soit dans les bassins situés au rez-de-chaussée où elles sont utilisées.)

4° A l'étage également, une petite chaudière à colle *c*, près des chaudières de raffinage;

5° Au rez-de-chaussée, sous les chaudières des caisses de lavage, bassins, recettes, conduites d'eau, etc., dont la description des différentes opérations fera connaître l'utilité.

Enfin, la machine motrice est affectée à la marche :

1° De 2 pompes d'élévation des eaux, soit dans les réservoirs indiqués ci-dessus, soit directement dans la rigole en fonte;

2° De 5 agitateurs à ailettes dans les divers bassins de cristallisation du salpêtre;

3° De 3 turbines destinées au séchage du salpêtre, dont 2 seulement fonctionnent à la fois, et d'un tamis mécanique.

Le séchage étant obtenu par l'introduction de vapeur surchauffée dans les turbines, un surchauffeur a été installé à proximité de ces appareils.

---

§ II.

DESCRIPTION DES OPÉRATIONS.

I.—Raffinage du salpêtre.

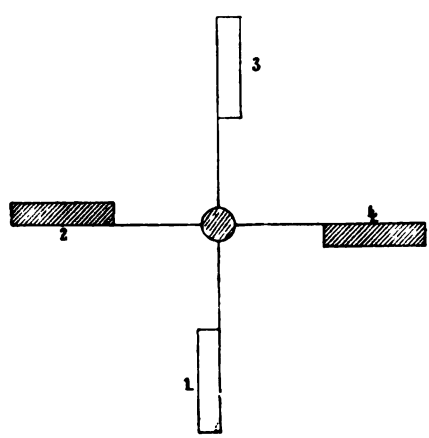
Le raffinage du salpêtre s'effectue dans 2 chaudières de 8^{mm} d'épaisseur C_1, C_2, chauffées par injection de vapeur à 5^{atm}. La

vapeur est ainsi, pendant toute la durée de l'opération, substituée à l'eau pure, toujours indispensable pour le raffinage, et son calorique est utilisé le mieux possible. Une enveloppe en tôle mince, renfermant du charbon de bois pulvérisé, est appliquée sur la calotte de la chaudière, afin d'atténuer la déperdition de chaleur.

La capacité de la chaudière permet d'y introduire, avec des wagonnets à bascule portant à peu près 300^{kg} chacun, environ 4000^{kg} de salpêtre, préalablement lavé ou non, suivant le titre du brut en chlorures. Un ouvrier fait fondre en agitant comme autrefois, et, lorsque l'aréomètre Baumé marque 55° à 56°, il opère le collage en prélevant la dissolution dans la petite chaudière à colle, également chauffée par injection de vapeur; enfin il écume et, après avoir laissé reposer la liqueur, il procède à la vidange. A cet effet, il ouvre un robinet en bronze correspondant à une ouverture latérale, à 0^{m},10 du fond de la chaudière, et l'écoulement a lieu, par une dalle en pente, jusqu'aux cristallisoirs. Lorsque le liquide s'est abaissé au-dessous de l'orifice de la chaudière, l'ouvrier ferme le robinet et y donne une chasse de vapeur, par un petit robinet spécial, pour empêcher toute cristallisation.

L'opération s'effectue en 1 heure $\frac{1}{4}$ pour la fonte des matières,

Fig. 2.



mais le collage et la clarification avant vidange exigent encore quelquefois près de 1 heure.

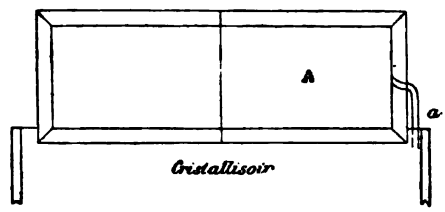
Deux cristallisoirs sont affectés au raffinage. Ils ont chacun

$5^{m},00$ de longueur, sur $2^{m},50$ de largeur, et présentent une légère pente pour l'écoulement à la fin de l'opération.

L'agitation, le refroidissement et la cristallisation en neige sont obtenus au moyen d'un agitateur à arbre horizontal reposant sur les deux bords longitudinaux du bassin, à $0^{m},80$ de l'extrémité. Il fait 13 à 14 tours par minute et est composé de 4 ailettes occupant chacune un peu moins de la moitié de la largeur du cristallisoir. (1 et 3 à droite, 2 et 4 à gauche de l'axe longitudinal) (*fig.* 2).

Le salpêtre, repoussé à l'autre extrémité du cristallisoir, est recueilli dans une caisse à double fond A, partagée en son milieu

Fig. 3. (Plan.)



par une cloison, de manière que, quand l'un des deux compartiments est rempli, on l'arrose et le laisse égoutter pendant qu'on charge l'autre. Les eaux d'égouttage et d'arrosage reviennent dans le cristallisoir par une rigole en cuivre *a* (*fig.* 3).

On fait usage, pour arroser le salpêtre dans la caisse, d'abord de 40^{lit} environ d'eau saturée provenant des turbines (à 1,2 pour 100 de chlorures environ), ensuite de 25 à 30^{lit} d'eau pure par compartiment renfermant 350^{kg} de matière; le salpêtre contient encore, après égouttage, $\frac{1}{700}$ de chlorure environ : c'est dans cet état qu'il est porté aux turbines. Quant aux eaux des cristallisoirs, elles sont, après refroidissement, montées, au moyen d'une pompe, dans le récipient qui leur sert de réservoir : ces eaux sont destinées à être évaporées, mais auparavant elles sont employées soit au trempage du salpêtre brut avant raffinage, soit à étendre les eaux de cuite de fabrication pour empêcher la cristallisation du sel marin.

Séchage. — La dernière purification et la dessiccation du salpêtre sont obtenues, par une action à la fois mécanique et ca-

lorifique, au moyen de deux turbines tournant à la vitesse de 1000 tours à la minute et d'un surchauffeur de vapeur placé à proximité. Chaque opération exige, au maximum, 20 minutes, dont 12 minutes pour la rotation, 8 pour le chargement et le déchargement, de sorte que les deux ouvriers conduisant ces appareils passent de l'une à l'autre pendant les temps d'arrêt. Le chargement se fait rapidement dans l'espace annulaire, fermé par une toile métallique, en y versant 6 boisseaux préparés à l'avance, qui, à l'état sec, représentent environ 160^{kg} de matières.

La turbine est mise en marche, puis, au bout de 2 à 3 minutes, on fait intervenir la vapeur portée à 125° ou 130°. Si l'on a soin de ne pas prolonger la rotation de la turbine, après avoir fermé l'admission de vapeur, la matière n'a pas acquis une consistance trop dure, et les ouvriers peuvent aisément la retirer au moyen de piochons et de pelles. Déchargée dans des boisseaux, elle est jetée dans un tamis faisant 150 courses à la minute, et tombe dans un grand bassin où elle est étendue avant de passer à l'enfonçage.

Deux ouvriers font, en moyenne, 5 turbines $\frac{1}{2}$ à l'heure, soit 880^{kg}, et le salpêtre est généralement bien sec; s'il arrive quelquefois qu'il renferme encore un peu d'humidité, on l'en débarrasse en le remuant sur le bassin dont nous venons de parler, lequel est chauffé par le conduit souterrain de fumée du surchauffeur, sans qu'il en résulte de surcroît de dépense en combustible. Quant aux eaux saturées provenant des turbines, elles sont, comme nous l'avons indiqué, employées à l'arrosage des caisses et ramenées dans les cristallisoirs.

Depuis quelques mois, on a renoncé à surchauffer la vapeur sans qu'il en soit résulté d'inconvénient pour le séchage : on économise ainsi la dépense de tubes qui, sous l'action directe du feu, étaient bientôt détériorés. Quant au combustible, une consommation journalière de 20^{kg} environ, en sus des escarbilles, est toujours faite pour entretenir sous le bassin qui reçoit le salpêtre tamisé une température d'environ 60° à 70°.

Cette dernière dépense pourra disparaître, en faisant arriver sous ledit bassin la vapeur sortant de la machine, qui actuellement s'échappe à l'air libre.

II. — Fabrication du salpêtre.

Chaudières de fabrication. — La fabrication du salpêtre, par conversion du nitrate de soude et du chlorure de potassium, s'effectue, comme l'évaporation des eaux provenant de raffinage, dans 4 chaudières C_3, C_4, C_5, C_6, de $0^m,12$ d'épaisseur, portant :

1° Un double fond pour la circulation de la vapeur (1);

2° Au point le plus bas, un double robinet en bronze pour la vidange;

3° Une enveloppe extérieure, avec charbon de bois interposé;

4° Sur le pourtour, à hauteur de l'étage, une dalle circulaire en cuivre, de $0^m,12$ de largeur, en communication avec la chaudière en un point de la circonférence, afin de recevoir et renvoyer dans la chaudière les eaux qui, pendant l'ébullition, s'en seraient échappées.

Détail des opérations. — Les eaux de cuite, à 36° ou 37° B., sont amenées dans la chaudière par l'ouverture du robinet du réservoir; qu'il s'agisse de réduction ou de transformation, c'est-à-dire d'évaporation sans ou avec addition de matières composantes prises au monte-charges, que l'ouvrier fait fondre en agitant, il concentre la dissolution jusqu'à 52° B. Une grande quantité de sel marin est alors en suspension dans la liqueur, qu'on a soin de maintenir en ébullition en manœuvrant la valve d'admission de vapeur dans le double fond. Pour faire la vidange, l'ouvrier fait ouvrir le robinet d'échappement au-dessous de la chaudière, continue à y agiter la masse boueuse pour faciliter l'entraînement de la partie solide, de sorte qu'à la fin il ne reste absolument rien dans la chaudière : un peu d'eau-mère suffit pour la nettoyer, après une chasse de vapeur qui dégage complètement le robinet.

Tout le contenu de la chaudière est reçu immédiatement au-dessous, dans une grande caisse en bois, à double fond, portée par des tréteaux à $1^m,32$ du sol de l'atelier; cette caisse, de $3^m,80$ de longueur, de $1^m,95$ de largeur et de $0^m,55$ de hauteur, est garnie à l'intérieur d'une grosse toile facile à enlever et à replacer

(1) Les épreuves réglementaires ont été faites à la pression de 5^{atm} par le service des mines, à Saint-Étienne.

après nettoyage. Le liquide filtre à travers la toile et le double fond pour être dirigé dans les cristallisoirs; les résidus salins restent dans la caisse, où ils sont soumis, après égouttage, aux lavages nécessaires.

Cristallisation. — Les 3 bassins, où se rendent, par des rigoles inclinées, les eaux saturées de salpêtre et de sel marin à une haute température, sont munis, comme ceux du raffinage, d'agitateurs à ailettes. On a bien soin d'y faire écouler, avant de décanter la chaudière, des eaux surnageantes de raffinage en quantité suffisante pour tenir en dissolution tous les chlorures, de sorte que l'agitation précipite du salpêtre en neige, qui n'a d'impureté que par l'eau dont il est imprégné.

Lorsqu'on est arrivé au complet refroidissement des eaux, on les monte à leur réservoir par la pompe, puis, après un égouttage qu'on fait aussi complet que possible, en relevant le salpêtre resté en totalité dans le cristallisoir, on le trempe au moyen des eaux de raffinage qui doivent étendre le produit liquide de l'opération suivante; enfin on enlève le salpêtre pour le déposer dans une caisse, contiguë au cristallisoir, où reviennent les eaux d'égouttage. Il suffit alors d'arroser la matière avec quelques arrosoirs de l'eau provenant des turbines pour la réduire à $\frac{1}{600}$ environ de chlorures, c'est-à-dire qu'elle peut être portée directement aux turbines et donner immédiatement du salpêtre à $\frac{1}{3000}$, réservé pour la poudre de mines, ou bien encore on peut la répandre dans les cristallisoirs de raffinage, pour la mélanger au salpêtre précipité dans les eaux qui proviennent des chaudières affectées à cette opération. Par conséquent, nos évaporations et notre fabrication produisent, sans nouvelle fonte de matières, du salpêtre qui n'a besoin d'être traité que comme celui qui sort des chaudières de raffinage pour renfermer moins de $\frac{1}{10000}$ de chlorures.

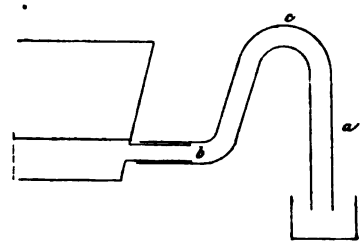
Lavage de sels. — Les sels convenablement égouttés subissent tous les jours, dans le grand récipient dont nous avons parlé, trois lavages successifs :

Le premier avec de l'eau mère, froide, provenant du deuxième arrosage fait la veille, qui, à cet effet, a été recueilli à part dans un bassin placé sous les chaudières de raffinage, et où s'est produite

du jour au lendemain une certaine cristallisation de salpêtre brut.

Les eaux, à 36° ou 37° B., pénètrent les résidus jusqu'à les couvrir entièrement, s'échauffent à leur contact prolongé et dissolvent assez de salpêtre pour marquer à l'aréomètre 49° à 50°; aussi iront-elles rejoindre, dans les cristallisoirs à ailettes, les

Fig. 4.



produits liquides de la décantation. (Une disposition très simple permet de prolonger ou de supprimer le séjour de l'eau dans la caisse : un siphon *a*, de même hauteur, s'adapte à l'ajutage *b*, autour duquel il peut tourner, de manière que la partie horizontale *c* puisse s'abaisser à volonté jusqu'au niveau *b*.)

Le deuxième trempage est effectué avec les eaux qui, la veille, avaient formé le troisième; elles sortent de la caisse à 40° B. environ au début, 36° à 37° à la fin.

Enfin le troisième arrosage est fait à l'eau pure; l'écoulement a lieu à 34° à 35° d'abord et, pour terminer, de 31° à 32°, sans élévation de température.

Pour ces arrosages, l'ouvrier n'a que des robinets à ouvrir et une pompe à embrayer; les résidus salins sont enlevés après un égouttage de 12 heures et ne contiennent pas plus de 1 pour 100 de nitrate.

---

§ III.

AVANTAGES DES NOUVEAUX APPAREILS.

Les nouveaux procédés en usage à la raffinerie de Bordeaux ont eu pour effet :

1° De substituer, partout où cela était possible, le travail mécanique au travail manuel;

2° De supprimer les nombreux foyers qui, dans l'intérieur des ateliers, présentaient un danger permanent;

3° De diminuer les arrosages nécessaires jusque-là pour purifier le salpêtre;

4° De faire disparaître l'accumulation des matières, en cours de raffinage, séjournant 7 à 8 jours dans lès caisses pour l'égouttage;

5° De réaliser une économie de $\frac{1}{4}$ au moins dans le prix de revient (main-d'œuvre et combustible);

6° Enfin d'augmenter sensiblement les moyens de production en salpêtre fabriqué comme en salpêtre raffiné.

Bordeaux, le 1er juillet 1888.

DEUXIÈME NOTE

SUR LA

FABRICATION DE POUDRES A CANON

A TRITURATION TRÈS RÉDUITE,

PAR

M. H. LAMBERT,

Ingénieur en chef des poudres et salpêtres,

ET

M. BARRAL,

Ingénieur des poudres et salpêtres.

Dans une note en date du 15 avril 1882 (1), nous avons donné les premiers résultats des recherches faites à Sevran sur l'emploi des poudres à canon fabriquées avec des triturations très réduites, et même sans aucune trituration sous les meules.

La commission centrale de réception de Versailles, ayant reçu communication de cette note, demanda la fabrication, par chacun des deux procédés, de 3 échantillons « pouvant être substitués aux poudres C_1, SP_1, SP_2 dans toutes les bouches à feu et dans toutes les conditions de tir où leur emploi est réglementaire. »

(1) Voir 1, 278.

§ I.

PROCÉDÉS DE FABRICATION.

La poudrerie de Sevran fut chargée de fabriquer ces 6 échantillons qui ont été obtenus par les procédés suivants :

I. — Poudres non triturées sous les meules.

(Procédé des tonnes et presses.)

Dosage. — Dosage de guerre.... { 75 de salpêtre. 10 de soufre. 15 de charbon.

Le charbon était du charbon de bourdaine, au rendement de 28 à 30 pour 100.

Binaires. — On a formé deux binaires comme il suit :

Tonnes salpêtre.	Salpêtre.....	112,500	120^{kg}, avec 150^{kg} de gobilles.
	Charbon.....	7,500	
Tonnes soufre...	Soufre.....	45	90^{kg}, avec 150^{kg} de gobilles.
	Charbon.....	45	

3 tonnes salpêtre et 1 tonne soufre donnent 450^{kg} de matières.

La durée de trituration est de $3^{h}\frac{1}{2}$ (1), à raison de 25 tours à la minute.

Ternaire. — 40^{kg} de binaire salpêtre et 10^{kg} de binaire soufre forment une charge de 50^{kg}, qui est mélangée dans un compartiment de tonne ternaire contenant 30^{kg} de gobilles en gaïac de 25 à 30^{mm} de diamètre. La durée de trituration est de $3^{h}\frac{3}{4}$ à raison de 20 tours par minute.

Préparation des matières pour les presses. Mouillage. — Le ternaire est versé dans une grande maie plate et arrosé avec 5 pour 100 d'eau; on le laisse séjourner dans la maie pendant

(1) Toutes les durées de triturations indiquées dans la présente Note ne comprennent pas le temps nécessaire aux opérations de chargement et de déchargement des appareils.

48 heures au moins, en ayant soin de touiller fréquemment. La matière étant alors convenablement humectée est tamisée sur un tamis en toile métallique de $2^{mm},5$, ce qui permet de l'étendre d'une façon plus régulière sur les plaques de presse.

Galetage préalable. — On fait alors un premier galetage à la presse : la matière, étendue en couche de $0^{m},04$ d'épaisseur, est comprimée lentement et réduite en galettes lisses dont la densité varie de 1,700 à 1,770. Ces galettes sont concassées grossièrement avec des maillets sans pointes, puis grenées au grenoir à cylindres, à la perce de $2^{mm},5$.

La matière ainsi obtenue est pressée à nouveau en galettes d'épaisseur convenable.

Pour plus de simplicité, nous désignerons désormais les échantillons par le nom de la poudre réglementaire correspondante.

Dimensions adoptées pour les échantillons. — On n'aurait pu conserver les dimensions des poudres réglementaires sans réduire considérablement les densités des grains, notamment pour la poudre C_1 qui aurait eu une densité inférieure à 1,650.

On adopta, en conséquence, des dimensions plus faibles, savoir : pour la poudre C_1 du grain anguleux compris entre $2^{mm},5$ et 6^{mm}; pour les poudres SP_1 et SP_2 les mêmes formes que celles des poudres C_2 et SP_1.

La fabrication des trois échantillons est résumée dans le tableau ci-après :

		POUDRE C_1. Grain irrégulier.	POUDRE SP_1. Grain de C_1.	POUDRE SP_2. Grain de SP_1.
PRESSE.	Humidité des matières.....	4 pour 100.	4 pour 100.	4 pour 100.
	Hauteur du cadre de moulage..	20^{mm}.	16^{mm}.	20^{mm}.
	Dimension des plaques de presse.	70^{cm} de côté.	70^{cm} de côté.	70^{cm} de côté.
	Diamètre du piston de la presse.	45^{cm}.	45^{cm}.	45^{cm}.
	Durée de la compression.....	40^{min}	40^{min}.	40^{min}.
	Pression finale sous le piston...	100^{atm}.	100^{atm}.	100^{atm}.
ÉBARBAGE.....		Couteaux à découper.	Couteaux à découper.	Couteaux à découper.
DÉCOUPAGE.....		Grenage entre $2^{mm},5$ et 7^{mm} au grenoir à cylindres.	id.	id.
LISSAGE.	Durée totale de lissage.	$22^h 30^m$ environ, dont :	23 heures, dont :	23 heures, dont :
	Détail du lissage.....	17^h à 14 tours, portes fermées.	2^h à 7 tours, portes fermées.	2^h à 7 tours, portes fermées.
		1^h à 14 tours, portes ouvertes.	15^h à 14 tours, portes fermées.	15^h à 14 tours, portes fermées.
		4^h à 14 tours, portes fermées.	30^{min} à 14 tours, portes ouvertes.	30^{min} à 14 tours, portes ouvertes.
		30^{min} à 14 tours, portes ouvertes.	$2^h 30^{min}$ à 14 tours, portes fermées.	$2^h 30^{min}$ à 14 tours, portes fermées
		"	30^m à 14 tours, portes ouvertes.	30^{min} à 14 tours, portes ouvertes.
		"	2^h à 14 tours, portes fermées.	2^h à 14 tours, portes fermées.
		"	30^{min} à 14 tours, portes ouvertes.	30^{min} à 14 tours, portes ouvertes.
	Densité réelle / Humidité — avant lissage....	1,661.	1,726.	1,745.
		3,20.	3,33.	3,67.
	Densité réelle / Humidité — après lissage....	1,687.	1,741.	1,759
		0,89.	1,40.	2,07
SÉCHAGE.	Procédé de séchage.....	Pas de séchage.	Pas de séchage ou séchage, à la sécherie ordinaire, de quelques heures.	Sécherie ordinaire.
	Durée du séchage.....	"	"	24^h
	Densité / Humidité — après séchage...	"	1,733.	1,741.
		"	0,94.	1,12.
ÉGALISAGE. — ÉPOUSSETAGE.....		Entre $2^{mm},5$ en toile métallique et 6^{mm} en peau.	Épousseté avec 10^{mm} en peau.	Épousseté avec 13^{mm} en peau.
QUALITÉS PHYSIQUES DE L'ÉCHANTILLON.	Densité réelle.....	1,693.	1,737.	1,743.
	Humidité pour 100....	1,17	0,90.	0,92.
	Grains au kilogramme.	23400	588.	370.
	Épaisseur moyenne....	-	$7^{mm},9$.	$10^{mm},3$.

II. — Poudres à trituration très réduite sous les meules.

Pour ces échantillons on a conservé la forme des poudres réglementaires. Le but des essais a été de déterminer des procédés de fabrication rapides et faciles à employer dans toutes les poudreries; ils ne diffèrent que par une réduction plus considérable de la trituration, des procédés prescrits, depuis nos premiers essais, par la circulaire du 26 octobre 1882, pour les poudres C_1 et SP_1 à trituration réduite.

Dosage. — Comme pour les échantillons précédents.

Binaires. — On n'a formé qu'un seul binaire.

Binaire soufre.. { Soufre.... 45kg / Charbon.. 67kg,5 } 112kg,500, avec 150kg de gobilles.

Chaque tonne soufre correspond à 450kg de matière.

La durée de trituration est de 2 heures, à raison de 25 tours par minute.

Préparation des matières pour les meules. — Le binaire soufre est tamisé à la perce de 0mm,65, le salpêtre à 2mm,5, puis on forme avec ces matières et des barbes les mélanges suivants :

Salpêtre.....	11,250
Binaire soufre.....	3,750
Barbes.....	5,000
Total.....	20,000

Pour les premières charges, on a remplacé les barbes par des matières ayant une trituration équivalente.

Le mélange est arrosé et touillé avec 1kg,200 à 1kg,500 d'eau et porté sous les meules où il n'a pas à subir ordinairement de nouvel arrosage.

Le reste de la fabrication des 3 échantillons est résumé dans le tableau qui suit :

		POUDRE C_1.	POUDRE SP_1.	POUDRE SP_2.
Durée de la trituration sous les meules.		25m.	20m.	20m.
Grenage des matières.....		Grenoir à cylindres à la perce de 2mm,5.	Grenoir à cylindres à la perce de 2mm,5.	Grenoir à cylindres à la perce de 2mm,5.
Presse.	Humidité des matières.....	4 pour 100.	4 pour 100.	4 pour 100.
	Hauteur du cadre de moulage..	13mm,5.	22mm.	28mm.
	Dimens. des plaques de la presse.	70cm.	70cm.	70cm.
	Diamètre du piston de la presse..	45cm.	45cm.	45cm.
	Durée de la compression.....	40m.	40m.	40m.
	Pression finale sous le piston...	70atm.	65atm.	70atm.
Ébarbage.....		Couteaux à découper.	Couteaux à découper.	Couteaux à découper.
Découpage.....		Maillets à pointes.	Couteaux à découper.	Couteaux à découper.
Lissage.	Durée totale du lissage.....	23 heures, dont :	18 heures, dont :	17 heures, dont :
	Détail du lissage.....	2h à 7 tours, portes fermées.	2h à 7 tours, portes fermées.	2h à 7 tours, portes fermées.
		15h à 14 tours, portes fermées.	15h à 14 tours, portes fermées.	15h à 14 tours, portes fermées.
		1h,50 à 14 tours, portes ouvertes.	1h à 14 tours, portes fermées.	"
		2h,50 à 14 tours, portes fermées.	"	"
		0h,5 à 14 tours, portes ouvertes.	"	"
		2h à 14 tours, portes fermées.	"	"
		0h,5m à 14 tours, portes ouvertes.	"	"
	Densité réelle avant lissage....	1,625.	1,691.	1,693.
	Humidité avant lissage....	2,50.	3,50.	2,80.
	Densité réelle après lissage....	1,682.	1,741.	1,745.
	Humidité après lissage....	1,25.	2,45.	2,10.
Séchage.	Procédé de séchage.....	Sécherie ordinaire ou pas de séchage.	Sécherie ordinaire.	Sécherie ordinaire.
	Durée du séchage.....	Une journée.	15h.	24h.
	Densité après séchage...	1,680.	1,718.	1,731.
	Humidité après séchage...	1,13.	1,33	1,21.
Époussetage.....		Tamis de 8mm en peau.	Tamis de 13mm en peau.	Tamis de 17mm en peau.
Qualités physiques de l'échantillon.	Densité réelle.....	1,688.	1,718.	1,728.
	Humidité pour 100....	1,25.	1,27.	1,17.
	Grains au kilogramme.	1865.	354.	109.
	Épaisseur moyenne....	6mm,4	10mm,4.	13mm,7.

1000kg de chacun des 6 échantillons ont été expédiés à la Commission de réception de Versailles.

§ II.

RÉSULTATS BALISTIQUES.

Nous donnerons les résultats des tirs préalables de Sevran et de ceux que la commission de réception de Versailles a exécutés dans les pièces servant ordinairement aux recettes des poudres réglementaires.

Les poudres faites par les tonnes et presses sont désignées par le n° 1, les autres par le n° 2.

I. — Tirs de Sevran.

a. Poudres C_1.

CANON DE 90^{cm}.

Bourges, 1875, n° 2259, ayant tiré 550 coups; charge de 1^{kg},900; projectile cylindrique de 8^{kg}.

DATE DU TIR.	POUDRE ESSAYÉE.	NOMBRE de coups.	V_{35} moyen.	ÉCART moyen.	PRESSION moyenne à la culasse.	OBSERVATIONS.
16 décembre 1882.....	C_1, n° 1.....	2	446,8	0,67	2112	Vitesse normale du type, 445^m,1.
	C_1, type du Ripault....	2	440,4	0,05	2261	
28 décembre 1882.....	C_1, n° 2.....	4	446,1	1,50	2082	Pression normale, 2347.
	C_1, type du Ripault....	2	441,3	0,50	2125	

b. Poudres SP_1.

CANON DE 155cm.

Bourges, 1879, n° 712, ayant tiré 600 coups; charge de 8kg,750; projectile cylindrique de 40kg.

DATE DU TIR.	POUDRE essayée.	NOMBRE de coups.	V_{50} moyen.	ÉCART moyen.	PRESSION moyenne à la culasse.	PRESSION moyenne dans le milieu de la chambre.	OBSERVATIONS.
12 octobre 1882.....	SP_1, n° 1....	3	450m,3	1,53	1933	1775	Vitesse normale du type 454m,5.
	SP_1, type de Sevran...	3	453,7	1,27	2157	1967	
21 novembre 1882.	SP_1, n° 2....	2	448,8	0,60	1992	1743	Pression normale, 2100.
	SP_1, type de Sevran...	2	455,7	0,90	2054	1877	

Les poudres SP_2 ont été tirées dans le canon de 16, faute de pouvoir disposer d'un canon de 24, modèle 1870.

c. Poudres SP_2.

CANON DE 16cm mod. 1870.

Nevers, 1878, n° 11; charge de 12kg; projectile cylindrique de 45kg.

DATE DU TIR.	POUDRE ESSAYÉE.	NOMBRE de coups.	V_{65} moyen.	ÉCART moyen.	PRESSION moyenne à la culasse.	OBSERVATIONS.
13 février 1833.....	SP_2, n° 1.....	3	435,8	3,30	1394	La poudre A_3S du 4e lot 1878 est un lot voisin de la limite supérieure des vitesses dans le 24.
	A_3S, 4e lot 1878 type.....	3	435,4	0,97	1414	
21 décembre 1882.....	SP_2, n° 2.....	2	436,2	0,95	1307	
	A_3S, 4e lot 1878 type.....	3	438,6	1,03	1167	

II. — Tirs de la commission de Versailles.

a. Poudres C_1.

CANON DE 90^{cm}.

Chargement réglementaire.

POUDRE ESSAYÉE.	V_{25} moyen.	ÉCART moyen.	PRESSION moyenne à la culasse.	OBSERVATIONS.
C_1, n° 1.....	449,2	2,36	1766	Vitesse normale assignée au type, 447^{m}.
C_1, n° 2.....	450,9	2,08	2063	
Poudre type....	443,2	1,04	1826	Pression, 2200.

b. Poudres SP_1.

CANON DE 155^{cm}.

Chargement réglementaire.

POUDRE ESSAYÉE.	V_{50} moyen.	ÉCART moyen.	PRESSION moyenne à la culasse.	OBSERVATIONS.
SP_1, n° 1.....	455,1	1,44	1816	
SP_1, n° 2.....	454,8	0,76	1991	
SP_1 type.....	452,2	1,07	1684	

CANON DE 24^{cm} mod. 1870.

Charge 28^{kg}; projectile 144^{kg}.

POUDRE ESSAYÉE.	V_0 moyen.	ÉCART moyen.	PRESSION moyenne à la culasse.	OBSERVATIONS.
SP_2, n° 1.....	437,45	0,87	1970	La poudre type est un lot moyen.
SP_2, n° 2.....	448,4	0,35	2420	
SP_2 type.....	438,3	0,30	1973	

En outre, des tirs ont été exécutés pour les poudres C_1 dans le 80 de campagne et dans le 80 de montagne, chargement réglementaire.

Pour les poudres SP_1, dans le 120 avec le chargement réglementaire, dans le 155 et le 120 avec des charges réduites; pour les poudres SP_2 dans le 155, le 19^{cm} et le 24^{cm} modèle 1876.

Les résultats ont été satisfaisants pour 5 des 6 échantillons et ont concordé avec les tirs dans les pièces servant ordinairement aux épreuves; seule la poudre C_1, n° 1 (procédé des tonnes et presses), s'est montrée irrégulière et brisante dans le canon de 80.

On voit, en outre, que la poudre SP_2, n° 2, est en dehors des limites de recette; mais il est clair qu'en fabrication courante on pourrait, par une augmentation de densité, ramener la vitesse et la pression dans les limites ordinaires.

Dès lors, et en exceptant l'échantillon C_1 n° 1 qui s'éloignait beaucoup des poudres à canon ordinaires, on peut conclure, avec la commission de Versailles, que « les 5 échantillons de poudre expérimentés donnent des vitesses et des pressions comparables à celles obtenues avec les poudres C_1, SP_1, SP_2 ».

Il reste à s'assurer : 1° que ces poudres sont comparables aux anciennes au point de vue de la justesse du tir : c'est ce que doivent montrer les tirs qui seront exécutés avec 1000^{kg} de chacun des 5 échantillons expédiés à Bourges et Calais; 2° que les nouvelles poudres se conserveront bien.

Ce deuxième point demande des essais assez longs; toutefois, nous pouvons dire, dès aujourd'hui, que les essais faits par la marine avec des poudres analogues sont très favorables.

---

§ III.

Conclusions.

Les expériences de la commission de Versailles confirment ce que la poudrerie de Sevran avait annoncé, savoir, que l'on peut avec l'un quelconque des deux procédés obtenir des poudres donnant les mêmes résultats balistiques que les poudres réglementaires.

Toutefois, les deux procédés ne nous paraissent pas avoir la même valeur pratique : l'outillage actuel des poudreries et la difficulté de comprimer des matières ternaires rendent le premier procédé peu avantageux; la trituration réduite sous les meules paraît préférable et permettrait d'augmenter dans une proportion considérable la production des établissements. En effet, si l'on admet le rendement de 75 pour 100, qui est un chiffre moyen, on voit qu'on peut, en employant des charges de 20^{kg} seulement, passer 30^{kg} de poudre de guerre par heure et par paire de meules ou 650^{kg} au moins par 24^{h}.

D'autre part, chaque tonne binaire fournit en $2^{h}\frac{1}{2}$ 450^{kg} de matière, soit, en 10^{h}, 1800^{kg}; la production d'une tonne correspond donc à celle de 3 paires de meules environ et peut même, avec le travail de nuit, suffire pour 6.

Quant aux lissoirs, il est probable qu'on pourrait réduire les lissages employés pour les échantillons et faire deux lissées, soit 1200^{kg} par 24^{h}.

Enfin, avec les grandes presses Morane, employées dans la plupart des poudreries, on peut obtenir 2500^{kg} environ de grain par jour : il en faudrait donc une pour 4 paires de meules.

En résumé, le procédé des triturations réduites permettrait d'obtenir une production considérable en augmentant le nombre de quelques appareils faciles à installer dans les poudreries, et donnerait peut-être dès aujourd'hui la faculté de supprimer le travail de nuit ou, du moins, de le réduire à la surveillance des binaires, lissoirs ou sécheries.

Sevran-Livry, 16 juin 1883.

NOTE

RELATIVE A

L'INFLUENCE DU RAPPROCHEMENT MOLÉCULAIRE

SUR

L'ÉQUILIBRE CHIMIQUE DE SYSTÈMES GAZEUX HOMOGÈNES;

PAR

M. SARRAU,

Ingénieur en chef des poudres et salpêtres,

ET

M. VIEILLE,

Ingénieur des poudres et salpêtres.

Un grand nombre de produits organiques explosifs ne renferment pas assez d'oxygène pour assurer la combustion complète de leurs éléments. La réaction de décomposition donne alors lieu, dans un grand nombre de cas, à un équilibre entre des produits exclusivement gazeux, les uns complètement oxydés, tels que l'acide carbonique et la vapeur d'eau, les autres inoxydés ou partiellement oxydés, tels que l'hydrogène, l'azote, le formène et l'oxyde de carbone.

L'expérience montre que cet équilibre final se modifie lorsqu'on augmente progressivement le poids de l'explosif placé dans un même volume, de façon à soumettre les produits de la décomposition à des pressions croissantes et différant entre elles de plusieurs milliers d'atmosphères.

Deux réactions principales régissent la transformation progressive de l'équilibre. Elles concourent toutes deux à diminuer le taux d'oxyde de carbone du mélange et augmenter celui de l'acide carbonique.

La première réaction transforme l'oxyde de carbone en acide carbonique aux dépens de la vapeur d'eau dont l'hydrogène devient libre,

$$CO + HO = CO^2 + H.$$

La seconde se manifeste lorsque la première réaction a déjà suffisamment diminué le taux de vapeur d'eau et enrichi le mélange en hydrogène libre, ou lorsque le produit explosif est assez peu oxygéné par lui-même pour ne fournir la vapeur d'eau qu'en faible quantité.

Elle consiste dans la production du formène

$$2CO + H^2 = CO^2 + CH^2.$$

La première réaction a un très grand degré de généralité. Elle a été observée, par Noble et Abel, dans la décomposition de la poudre noire sous des pressions croissantes. Nous l'avons signalée dans la décomposition des picrates et du coton-poudre et nous en avons étudié le développement pour ce dernier explosif, dans des limites très étendues.

Nous rappelons, dans le tableau suivant, les formules de décomposition qui représentent, d'une façon très approchée, les résultats de nos analyses et montrent le mécanisme de cette réaction :

Poids de gaz dans 1^{lit}.	$C^{44}H^{20}Az^{11}O^{44} =$	Taux de formène en volume.
gr		
9,8.....	$33CO + 15CO^2 + 8H + 11Az + 21HO$	o
23,0.....	$30CO + 18CO^2 + 11H + 11Az + 18HO$	o
200,0.....	$27CO + 21CO^2 + 14H + 11Az + 15HO$	0,006
300,0.....	$26CO + 22CO^2 + 15H + 11Az + 14HO$	0,015

La température de l'équilibre final est de 3000° environ et les pressions ont varié de 100^{atm} à 4000^{atm}.

La seconde réaction signalée plus haut, inappréciable dans les deux premières conditions d'expérience, apparaît déjà, dans les

deux dernières, par la production de 0,5 et 1,5 centièmes de formène en volume.

Cette réaction ne devient importante, pour les limites de pression dans lesquelles nous avons opéré, que dans la décomposition de matières moins riches en oxygène que le coton-poudre. C'est ainsi que nous avons vu le taux de formène croître rapidement avec la pression dans la décomposition des celluloses de nitrification inférieure, des picrates et de l'acide picrique. Pour ce dernier corps, la réaction est des plus nettes, comme l'indiquent les formules suivantes, qui représentent très exactement nos expériences (1) :

Poids de gaz dans 1lt.	$8C^{12}H^{3}(AzO^{4})^{3}O^{2} =$
gr	
100,0.....	$11CO^{2} + 84CO + 24Az + CH^{2} + 16H + 6HO$
300,0.....	$20CO^{2} + 69CO + 24Az + 7CH^{2} + 7H + 3HO$
500,0.....	$25CO^{2} + 61CO + 24Az + 9\frac{1}{2}CH^{2} + 4H + HO + \frac{1}{2}C$

Si l'on compare les modes de décomposition extrêmes, on voit

(1) Le tableau suivant permet de comparer les compositions gazeuses et les volumes observés avec ceux qui résultent des formules.

COMPOSITION DES GAZ.	DENSITÉ DE CHARGEMENT					
	0,1,		0,3,		0,5,	
	observée.	calculée.	observée.	calculée.	observée.	calculée.
CO^{2}.....	7,61	8,09	15,40	15,75	20,55	20,24
CO.....	61,56	61,76	54,34	54,33	48,80	49,39
$C^{2}H^{4}$.....	1,19	0,73	5,75	5,51	7,83	7,69
H.....	12,52	11,76	6,31	5,51	3,06	3,24
Az.....	17,12	17,64	18,20	18,90	19,76	19,43
Volume des gaz permanents (0°,760).	831,5	828,5	763,7	773,7	725,9	752,4

Le volume observé à la densité de 0,5 paraît entaché d'erreur, par suite, sans doute, d'une légère fuite de l'appareil pendant le refroidissement.

que $5^{éq}$ seulement d'oxyde de carbone ont été transformés en acide carbonique, aux dépens de la vapeur d'eau, et que $18^{éq}$ de ce même gaz ont disparu par le fait de la seconde réaction. Il convient d'ailleurs de remarquer que ces modes de décomposition se produisent avec des pressions, très différentes, de 1000^{atm} et 9000^{atm}.

Les réactions dont dépend l'abaissement du taux de l'oxyde de carbone sont exothermiques : la première dégage peu de chaleur, 5^{cal} environ par équivalent d'oxyde de carbone transformé en acide carbonique; elle ne modifie pas, d'autre part, le volume des gaz produits, l'eau étant considérée comme gazeuse. La seconde réaction réduit à moitié le volume gazeux sur lequel elle s'opère : la chaleur dégagée est considérable et atteint $30^{cal},5$ par équivalent d'acide carbonique formé.

Par l'une et l'autre réaction, la transformation de l'équilibre tend donc vers le dégagement de chaleur maximum.

Enfin, les deux réactions concourent à faire croître la pression dans un rapport plus grand que celui des charges. Ce fait, évident pour la première de ces réactions, se vérifie par un calcul facile pour la seconde.

Paris, 31 décembre 1887.

NOTE SUR LES TRANSMISSIONS

PAR

CABLE TÉLÉDYNAMIQUE CONTINU,

PAR

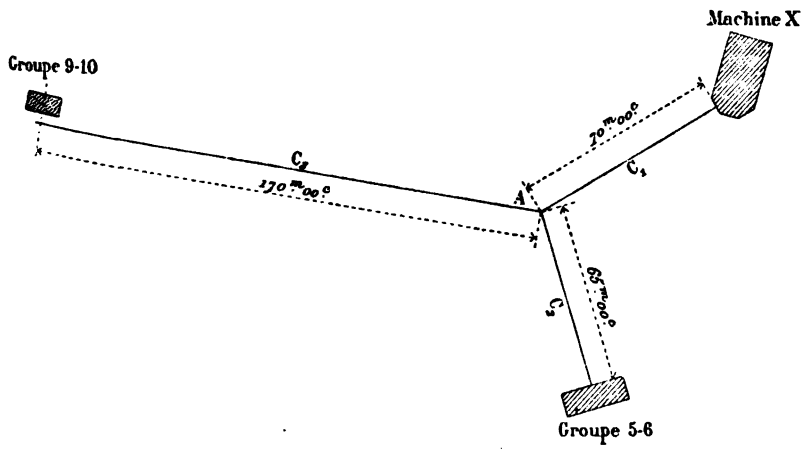
M. A. BÉRARD,

Ingénieur en chef des poudres et salpêtres.

L'objet de la présente note est d'indiquer les dispositions adoptées à la poudrerie nationale de Saint-Médard pour transmettre la force des machines centrales aux usines situées dans la partie sud-ouest de l'établissement.

Le bâtiment des machines centrales X est placé à l'entrée de

Fig. 1.



la poudrerie, et la force devait être envoyée, d'une part, au groupe 5-6 et, d'autre part, au groupe 9-10, qui constituaient

respectivement deux têtes de ligne pour les usines qu'il s'agissait de commander.

La disposition du bâtiment des machines obligeait, du reste, à prendre le mouvement sur une poulie-câble unique, placée dans le pan-coupé sud-ouest de ce bâtiment.

La solution admise dans le principe consistait à employer trois câbles distincts C_1, C_2, C_3, partant d'un pylône de distribution A et aboutissant respectivement au bâtiment X et aux groupes 5-6 et 9-10; les trois poulies placées sur le pylône de distribution étaient rendues solidaires par des engrenages, et le mouvement venant de la machine se trouvait ainsi renvoyé sur les groupes 5-6 et 9-10.

Mais cette disposition très naturelle présentait l'inconvénient de ne donner au câble principal C_1 qu'une longueur assez faible, eu égard surtout à la force à transmettre, et de conduire à une dépense assez élevée.

La force transmise devant être de 125^{chx} et la portée du câble étant de 70^{m} seulement, il fallait employer un câble pesant 2^{kg} au moins le mètre courant (1) et donner à tous les engrenages de très fortes dimensions.

Il devenait impossible ainsi d'utiliser les mécanismes que la poudrerie possédait dans ses magasins, et qu'il y avait cependant intérêt à employer afin de diminuer la dépense, qui paraissait excessive.

Dans ces conditions, on se résolut à supprimer le renvoi par engrenages du pylône de distribution et à remplacer les trois câbles distincts C_1, C_2, C_3 par un câble continu unique, passant successivement sur la poulie motrice du bâtiment X et sur les poulies réceptrices des groupes 5-6 et 9-10, et guidé dans son parcours multiple par de simples galets de renvoi.

Le changement de direction de chaque brin devait être obtenu à l'aide de deux galets placés suivant les plans dans lesquels le câble devait se mouvoir successivement et tangents à l'intersection de ces plans.

Tous les galets de renvoi devaient, du reste, être placés sur un même support occupant l'emplacement du pylône projeté, ce qui conservait le tracé primitif dans sa partie essentielle.

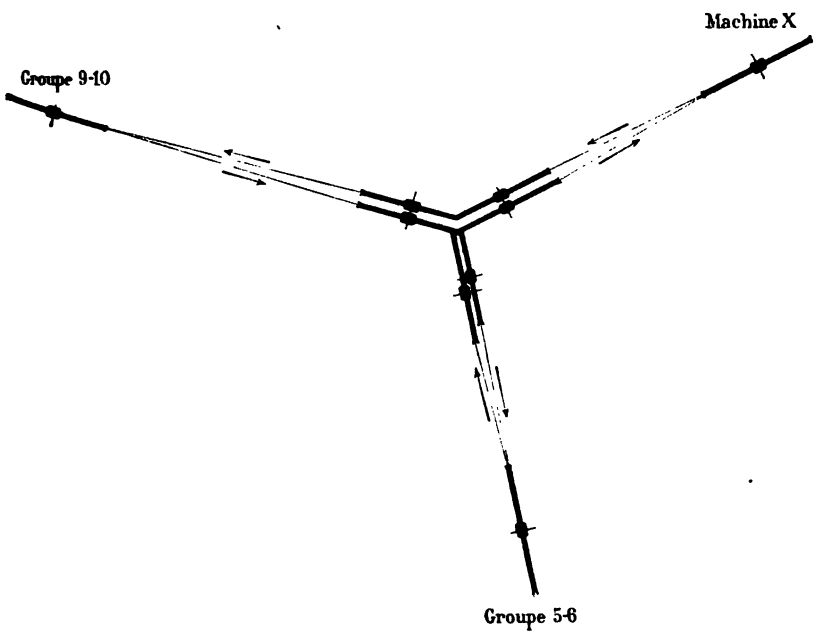
---

(1) *Éléments de construction des machines*, par M. W.-C. Unwin. *Notes* de de M. H. Léauté.

L'avantage de cette disposition était double : elle donnait au câble une portée plus grande (¹), ce qui permettait déjà d'en diminuer le poids, et elle offrait en outre un moyen commode de tendre le câble à volonté, en déplaçant verticalement quelques-uns des galets de renvoi.

On pouvait ainsi maintenir le câble dans les conditions de fonctionnement le plus avantageuses et réduire ses dimensions à celles

Fig. 2.



strictement nécessaires pour résister à l'effort transmis, et pour parer aux variations accidentelles de longueur dues aux influences atmosphériques.

Le calcul justifiait du reste ces prévisions (²) et montrait que la transmission des 125^{chx} demandés pouvait s'effectuer à l'aide

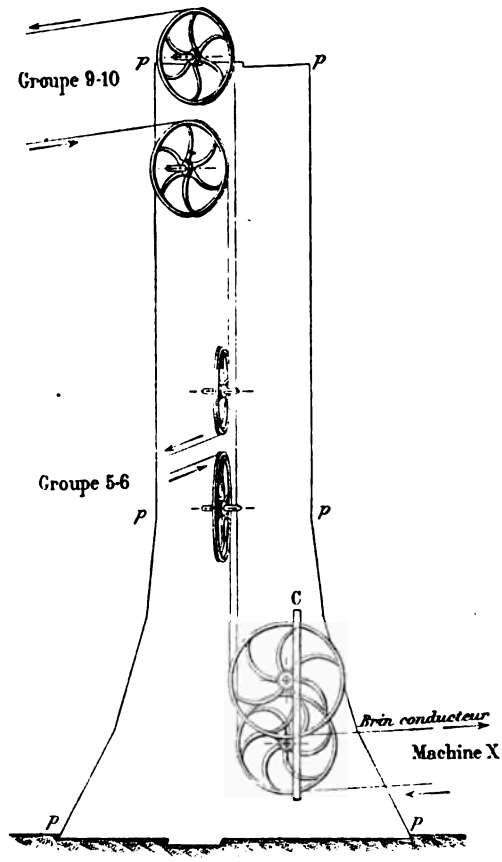
(¹) L'un des brins se trouvait avoir ainsi une longueur de 170^{m} au lieu de 70^{m}, ce qui doublait, et au delà, la portée réglant le fonctionnement du câble.

(²) Ce calcul se fait à l'aide des formules données par M. Léauté, pour les câbles avec galets de support (*Théorie générale des transmissions par câbles métalliques*, p. 178 à 188), et en exprimant que quelques-unes des poulies intermédiaires ont à transmettre des efforts connus.

d'un câble de $0^{kg},600$ environ et des poulies de $2^{m},50$ et de 3^{m} de diamètre qui existaient en magasin.

C'est cette solution qui a été admise et l'installation, faite dans les conditions qui viennent d'être indiquées, fonctionne réguliè-

Fig. 3.



C cadre mobile supportant les galets inférieurs et permettant, par un déplacement vertical des galets, de tendre le câble à volonté.
pp... silhouette du pylône.

rement depuis la mise en marche des machines centrales, c'est-à-dire depuis un an environ.

Le câble adhère bien sur les poulies et ne glisse pas, même lors-

qu'il vient d'être graissé (¹); il n'a aucune tendance à sauter en dehors des gorges quand celles-ci sont en bon état, et il n'est jamais tombé qu'à la suite de ruptures provenant de l'usure même du câble; ces ruptures se sont produites quatre fois depuis la mise en marche.

En marche normale, les oscillations du câble dans le sens vertical ont une amplitude totale de $0^m,10$ environ pour les brins C_1 et C_2, et de $0^m,20$ à $0^m,30$ pour les brins C_3; les oscillations horizontales sont moindres et généralement inférieures à la moitié des précédentes. Les brins verticaux compris entre les galets de renvoi du pylône ont en outre de petites oscillations circulaires qui atteignent $0^m,06$ à $0^m,08$ d'amplitude totale pour le brin le plus long, qui a 18^m environ de longueur.

Au moment de l'arrêt et surtout au moment de la mise en marche, ces diverses oscillations sont beaucoup plus fortes; celles des brins verticaux du pylône ne paraissent pas dépasser $0^m,12$ à $0^m,15$ de diamètre pour le brin de 18^m, mais celles des brins C_3 ont une amplitude totale voisine de 2^m.

Les câbles employés sont des câbles en acier doux ordinaire, de 96 fils, pesant $0^{kg},700$ environ par mètre courant, c'est-à-dire d'un poids total de 400 à 450^{kg}; les fils sont répartis en 8 torons enroulés autour d'une âme en chanvre assez grosse, qui donne au câble un diamètre extérieur de 16 à 18^{mm}.

Le dernier câble a été mis en service le 24 mai 1888; il a été raccourci une première fois de $3^m,50$ trois jours après cette mise en service, puis deux autres fois de 1^m le 11 juillet et le 16 septembre; lors de ce dernier raccourcissement, on a dû changer deux torons cassés de $1^m,50$ de longueur. Actuellement (30 septembre), deux torons qui font saillie sur le reste du câble sont fortement usés sur toute leur longueur, et il faudra prochainement pourvoir au remplacement du câble.

Saint-Médard, 30 septembre 1888.

(¹) Ce graissage se fait à l'aide d'un mélange d'huile minérale et de plombagine.

NOTE

SUR UN

PHÉNOMÈNE MÉCANIQUE

OBSERVÉ A LA

POUDRERIE DE SAINT-MÉDARD,

PAR

M. H. LÉAUTÉ,

Répétiteur à l'École polytechnique, ingénieur des manufactures de l'État.

Les installations nouvelles de la poudrerie de Saint-Médard en Jalle, près Bordeaux, ont mis en évidence et nous ont permis d'étudier un fait mécanique d'un haut intérêt en raison du développement, chaque jour plus considérable, que prennent les transmissions à grande vitesse et à grande distance.

La force nécessaire aux différentes usines de cette poudrerie leur est fournie par un réseau de câbles télédynamiques mis en mouvement à l'aide de deux machines centrales placées près de l'entrée de l'établissement.

Les poulies-câbles de départ sont placées dans la salle même des machines et reliées par des engrenages d'angle à l'arbre de couche premier moteur.

Depuis la mise en marche de cet ensemble, les engrenages dont il vient d'être question ont été le siège de trépidations tout à fait inquiétantes; des chocs violents, dus évidemment à des retours en arrière du pignon à dents de bois qui actionne la transmission aérienne par rapport à la roue dentée avec laquelle il engrène, se produisaient sans interruption et l'on pouvait constater, après

quelque temps de fonctionnement, par l'usure des dents en bois, que ces retours en arrière atteignaient jusqu'à 13^{mm}.

La cause de ces trépidations dangereuses, auxquelles il était urgent de porter remède, ne devait pas être attribuée à un défaut de construction ; l'installation avait été faite par la maison Farcot avec le soin minutieux qu'elle apporte à tout ce qu'elle établit, et les vérifications faites après coup n'avaient révélé ni défaut de montage ni déformation des supports.

Il fallait donc chercher cette cause, non dans un vice accidentel de construction, mais dans les conditions mêmes de fonctionnement, soit de la machine, soit des transmissions, soit des machines-outils.

Le moteur consiste en deux machines à admission et échappement indépendants du système Farcot, couplées à angle droit et comprenant entre elles un volant puissant sur lequel passe la double courroie qui actionne l'arbre de couche. On sait avec quelle régularité marchent ces machines.

D'autre part, la transmission télédynamique présente, il est vrai, de nombreux renvois de mouvement, des changements de direction multipliés, un grand développement ; mais elle marche d'une façon parfaitement satisfaisante, les oscillations des brins sont insignifiantes et le fonctionnement, dans les différentes parties, ne laisse rien à désirer.

Quant aux machines-outils, leur grand nombre, le peu de force qu'elles absorbent individuellement, leur nature même, excluent toute variation brusque de la résistance capable de produire les phénomènes anormaux dont il s'agit.

Dans ces conditions, à quoi peuvent être dues les trépidations que l'on constate? Comment se produisent-elles dans l'engrenage d'angle, étant donnée la régularité du moteur qui précède et de la transmission qui suit? C'est là une question délicate, susceptible de se présenter souvent, dont la solution est loin d'être évidente et que l'on résoudra, comme nous le verrons, par la considération de la *caractéristique cinématique* définie par nous dans un autre travail (1).

(1) *Sur la caractéristique cinématique* (*Journal de Mathématiques*, dirigé par M. Jordan, 1887; p. 165).

Deux hypothèses se trouvaient en présence : on pouvait admettre que les trépidations étaient dues aux irrégularités du mouvement de la machine ou aux irrégularités du mouvement des câbles; ces deux hypothèses étaient plausibles toutes deux à priori, car, dans l'une comme dans l'autre, des mouvements relatifs en arrière étaient possibles, et ces mouvements, en raison de l'importance des masses mises en mouvement, expliquaient parfaitement la violence des chocs produits. Le volant de la machine pèse, en effet, 17000^{kg} environ, et la transmission aérienne, qui porte 25 poulies de 2^{m} à 3^{m} de diamètre, représente une masse plus grande encore lancée à une vitesse tangentielle de 25^{m} par seconde.

En ce qui concerne les irrégularités du mouvement du moteur, il est bien clair qu'elles ne sauraient être complètement annulées; une machine à vapeur, si parfaite qu'elle soit, ne donne jamais un mouvement de rotation rigoureusement uniforme; le but du volant est précisément d'atténuer les variations de vitesse qui sont la conséquence de l'intermittence dans le mode d'action de la force et des modifications qu'éprouve le couple moteur par suite de l'obliquité de la bielle. Mais, dans le cas actuel, le calcul du volant montrait que sa masse était notablement supérieure à celle qui lui est habituellement imposée ; à ce point de vue donc, rien ne pouvait être reproché à la machine, et il semblait bien peu probable qu'on trouvât de ce côté la cause du phénomène.

Quant aux câbles, ils sont, comme on sait, soumis à des oscillations que l'on n'arrive jamais à éteindre et qui sont, du reste, la conséquence même de la flexibilité de ce mode de transmission : mais, ainsi que nous l'avons dit, ces oscillations étaient relativement très faibles et bien inférieures à ce qu'elles sont dans des transmissions considérées comme fonctionnant bien.

En résumé, on se trouvait en présence d'un engrenage présentant des vibrations véritablement dangereuses, et l'on constatait des conditions de régularité exceptionnelles avant cet engrenage aussi bien qu'après. La question posée ne pouvait être tranchée à priori.

Pour la résoudre, il était nécessaire de sortir des généralités, d'analyser le phénomène d'une manière plus complète et de partir de données précises.

Tout d'abord on ne peut songer à traiter la question d'une façon mathématique; en particulier, il est impossible de calculer rigoureusement l'intensité des chocs et de déterminer avec exactitude leur amplitude et leur périodicité; toutes les petites irrégularités locales du mouvement se répercutent forcément sur l'engrenage; le plus ou moins de flexibilité de la transmission télédynamique intervient; les légères oscillations qu'ont toujours les câbles exercent leur action; l'élasticité des dents a une part dans le phénomène; le jeu qui existe entre elles transforme les trépidations proprement dites en chocs; il faut donc s'en tenir à un critérium simple qui, sans représenter la règle rigoureuse qu'il est de toute impossibilité d'obtenir, donne cependant toute garantie au point de vue pratique.

Dans cet ordre d'idées, nous opérerons comme il suit pour voir si le contact est convenablement assuré :

La roue dentée, mise en mouvement par la puissance motrice de la machine, supporte une résistance tangentielle exercée par le pignon et provenant à la fois des machines-outils et des transmissions aériennes. Cette résistance, qui peut être considérée comme constante dans le mouvement normal, fait équilibre à l'action de la vapeur sur la roue; si celle-ci restait fixe, le mouvement serait uniforme et l'accélération au contact constamment nulle; mais cette action varie, comme nous le verrons plus loin, dans de fortes proportions : le mouvement de la roue dentée sous l'action de la résistance constante n'est pas, dès lors, rigoureusement uniforme; son accélération n'est plus constamment nulle et il se produit au contact des accélérations tantôt positives et tantôt négatives qui sont la conséquence même du mode d'action du moteur. Lorsqu'une accélération négative existe et qu'ainsi la roue dentée tend à se séparer du pignon, il suffit, pour que l'adhérence soit assurée, que l'accélération en arrière prise par ce dernier, si toute force motrice cessait d'agir sur lui, ne soit jamais inférieure à l'accélération négative dont nous parlons; si, à un moment quelconque, cette condition n'était pas satisfaite, la séparation des deux roues dentées serait possible et, sans pouvoir assurer qu'elle aurait lieu, on pourrait craindre qu'elle se produisît.

Dès qu'il y a décollement, la machine qui ne subit plus aucune résistance prend un mouvement très rapidement accéléré, la trans-

mission qui ne reçoit plus de puissance a un mouvement retardé, la roue rejoint le pignon et un choc se produit.

En somme donc, pour trouver une condition de contact assuré, il suffit de calculer les accélérations que prend la roue dentée sous l'action de la force variable de la vapeur et de la résistance supposée constante, puis d'exprimer que l'accélération négative qui se produit dans cette hypothèse est toujours inférieure à celle que présente le pignon dans le mouvement retardé qu'il acquerrait par la suppression du contact.

C'est ce que nous allons faire pour l'ensemble mécanique de la Poudrerie de Saint-Médard.

Le pignon de commande de la transmission aérienne fait, en marche régulière, 150 tours par minute; si l'on suppose qu'on sépare brusquement ce pignon de la roue dentée qui l'actionne, son mouvement se ralentit et, après 210 tours, il s'annule; c'est ce nombre de tours que nous avons désigné sous le nom de *caractéristique cinématique;* il va nous permettre de calculer l'accélération moyenne, suivant la circonférence primitive, du mouvement retardé qui anime le pignon après le débrayage.

En effet, la force tangentielle qui agit sur ce pignon ne varie pas d'une façon appréciable, car les résistances des machines-outils sont, en total, comme nous l'avons vu, sensiblement constantes, les frottements des axes de poulies sur leurs tourillons peuvent être considérés comme indépendants des vitesses, la force consommée par les câbles eux-mêmes n'a pas varié. Le mouvement du pignon à partir de l'instant du débrayage est donc un mouvement uniformément retardé.

Mais la vitesse, à cet instant, d'un point de la circonférence primitive dont le rayon est de $0^m,557$, a pour valeur

$$\frac{2\pi \times 0^m,557 \times 150}{60} = 8^m,749.$$

Si donc on désigne par v cette vitesse à un instant quelconque, par S l'arc décrit, par γ l'accélération cherchée, on a, en prenant pour origine des temps l'instant de débrayage, et pour origine des arcs la position correspondante,

$$v = 8,749 - \gamma t,$$
$$S = 8,749 \times t - \tfrac{1}{2}\gamma t^2,$$

ce qui donne, en représentant par T la durée totale du mouvement correspondant à la caractéristique cinématique de 210,

$$8^{m},749 = \gamma T,$$
$$2\pi \times 0^{m},557 \times 210 = \tfrac{1}{2}\gamma T^{2};$$

on en conclut

$$\gamma = \frac{\overline{8,749}^{2}}{2 \times 2\pi \times 0,557 \times 210} = 0^{m},052.$$

Déterminons maintenant l'accélération Γ, résultant de l'action de la machine et de la résistance supposée constante, en un point de la circonférence primitive de la roue dentée qui engrène avec le pignon de commande de la transmission aérienne.

Cette accélération se compose de deux parties : l'une Γ_1, négative, produite par les diverses résistances passives qui s'exercent depuis la machine motrice jusqu'au contact avec le pignon ; l'autre Γ_2, positive, due à l'action de la vapeur diminuée de la résistanee constante.

Le calcul de la première est simple et tout à fait analogue à celui de l'accélération γ que nous venons d'effectuer ; les résistances passives restent, en effet, sensiblement constantes, et le mouvement en arrière qui serait dû à leur action est, dès lors, uniformément retardé.

Rapportons, pour plus de commodité, le mouvement à l'arbre de la machine qui porte le volant, arbre qui fait 51 tours par minute ; la caractéristique cinématique de la machine, comptée sur cet arbre est de 65 tours ; si donc on désigne par Ω_1 la vitesse angulaire, par $\mathcal{A}_1$ l'accélération angulaire, par T_1 la durée totale du mouvement, on a

$$\Omega_1 = \mathcal{A}_1 T_1,$$
$$2\pi \times 65 = \tfrac{1}{2}\mathcal{A}_1 T_1^{2},$$

avec la condition

$$\Omega_1 = \frac{2\pi \times 51}{60};$$

on en déduit

$$\mathcal{A}_1 = \frac{\pi \times \overline{51}^{2}}{3600 \times 65} = 0,035.$$

Mais l'arbre dont nous nous occupons et qui fait 51 tours par minute communique le mouvement à l'arbre de couche portant

la roue dentée, et ce dernier fait 120 tours par minute; on a, par suite, pour son accélération angulaire,

$$0{,}035 \times \frac{120}{51} = 0{,}082,$$

et, comme le rayon de la roue dentée est de $0^m{,}700$, on en conclut, pour l'accélération Γ_1,

$$\Gamma_1 = 0{,}082 \times 0^m{,}7 = 0^m{,}057.$$

Calculons maintenant l'accélération Γ_2 due à l'action de la vapeur diminuée de celle de la résistance, et, pour cela, cherchons tout d'abord la valeur de l'accélération angulaire correspondante $\mathcal{A}_2$, rapportée à l'arbre du volant.

Cette accélération dépend de deux éléments : la masse mise en mouvement, la grandeur de la force agissante.

Les diverses masses que fait mouvoir la machine, en deçà du pignon de commande des câbles, peuvent être considérées, au point de vue de l'accélération, comme équivalentes à un poids de 9000^{kg} environ lancé à une vitesse normale de $14^m{,}5$ (1).

D'autre part, la poussée de la vapeur qui fournit un travail de 130 chevaux indiqués, soit de 9750^{kgm}, équivaut par conséquent, en moyenne, à un effort tangentiel, rapporté à la circonférence du volant, de $\frac{9750}{14{,}5}$ ou 672^{kg}, appliqué à la masse dont il vient d'être question.

Mais, si l'on examine la manière dont varie la composante tangentielle de cette poussée, l'étude du diagramme montre que, même en tenant compte de la superposition d'effet des deux cylindres dont les manivelles sont couplées à angle droit, cette composante tangentielle diminue d'au moins la moitié de sa valeur moyenne au moment où elle atteint son minimum.

La valeur la plus faible de la composante tangentielle de la pression est donc, au plus, de 336^{kg}, et l'accélération angulaire $\mathcal{A}_2$ résulte de l'application d'une force de $672^{kg} - 336^{kg}$, soit 336^{kg}, à une masse de 9000^{kg} disposée sur une circonférence de $5^m{,}50$ de

(1) Le volant pèse 17000^{kg}, il a $5^m{,}50$ de diamètre. On voit aisément qu'à raison de 51 tours par minute, et en tenant compte des poulies, cet ensemble peut être remplacé comme nous l'indiquons.

diamètre; on a, par suite,

$$\mathfrak{A}_2 = \frac{336}{\frac{9000}{9,81} \times \frac{5,50}{2}} = 0,133.$$

On en conclut, pour l'accélération angulaire correspondante de l'arbre de la roue dentée,

$$0,133 \times \frac{120}{51} = 0,313,$$

et, par suite,

$$\Gamma_2 = 0,313 \times 0^m,7 = 0^m,219,$$

d'où l'on conclut

$$\Gamma = \Gamma_2 - \Gamma_1 = 0^m,219 - 0^m,057 = 0^m,162.$$

Cette accélération est notablement supérieure à l'accélération de $0^m,052$ trouvée pour le mouvement en arrière du pignon; c'est à ce fait qu'il faut attribuer les trépidations observées; la régularité du mouvement du moteur, tout en dépassant les limites ordinairement imposées, n'est pas en rapport avec l'énorme masse qu'on demande à la machine de commander.

Dans l'hypothèse où nous nous sommes placé d'une variation de moitié dans la composante tangentielle de la force motrice agissant sur la roue dentée, il serait théoriquement possible d'imaginer un volant qui atténuerait suffisamment les accélérations dues à la machine pour que cette cause cessât d'être prépondérante dans le phénomène; mais, comme la résistance à vaincre est susceptible, selon les besoins du service, de varier dans des proportions considérables, on serait conduit, pour avoir toute garantie dans tous les cas, à un volant d'un poids absolument inadmissible.

C'est là un fait intéressant, susceptible de se produire souvent et sur lequel il nous paraît utile d'appeler l'attention. Les règles suivies pour le calcul des volants, suffisantes pour les installations mécaniques établies dans des conditions ordinaires, peuvent se trouver complètement en défaut dans le cas de transmissions à grande distance, actionnant un nombre considérable d'organes de machines lancés à grande vitesse. Il ne suffit pas alors de considérer d'une façon absolue la régularité du mouvement du moteur qu'on installe, il faut encore la comparer à celle des transmissions qui le suivent. En faisant cette comparaison, et nous venons de voir comment la caractéristique cinématique permettait d'y pro-

céder, on sera généralement conduit à des volants d'un poids tellement considérable qu'il sera impossible pratiquement de les réaliser, qu'on sera obligé d'accepter les mouvements relatifs en arrière, et que le seul moyen d'éviter les à-coups violents et les trépidations dangereuses sera d'abandonner les engrenages pour employer les transmissions par lien flexible.

C'est, dans le cas particulier de la poudrerie de Saint-Médard, la seule conséquence à tirer de l'étude qui vient d'être faite; après avoir constaté la régularité remarquable du mouvement, pour le moteur comme pour les transmissions, on est conduit à cette conclusion :

La seule faute a été de placer des roues dentées entre la machine et le réseau aérien; le seul procédé pratique pour faire disparaître les trépidations est de supprimer cet engrenage.

Paris, 1er octobre 1888.

COMMISSION DES SUBSTANCES EXPLOSIVES.

SOUS-COMMISSION SPÉCIALE (1).

RAPPORT SUR L'ÉTUDE DES QUESTIONS

RELATIVES A

L'EMPLOI DES EXPLOSIFS

EN PRÉSENCE DU GRISOU.

HISTORIQUE.

Commission française du grisou. — La commission française du grisou, instituée par la loi du 26 mars 1877, avait manifesté le désir que la commission des substances explosives examinât si, en modifiant la nature ou le mode d'emploi des explosifs, on pouvait atténuer l'effet des explosions de grisou résultant du tirage des coups de mines. A cet effet, M. Aguillon, ingénieur des mines,

(1) Cette sous-commission est composée de :

MM. Mallard, inspecteur général des mines, *président;*
Cornu, membre de l'Institut, ingénieur en chef des mines;
Sarrau, membre de l'Institut, ingénieur en chef des poudres;
Colonel Sebert;
Colonel Castan;
Lambert, ingénieur en chef des poudres;
Haffen, chef de bataillon du génie;
Aguillon, ingénieur en chef des mines;
Le Chatelier, ingénieur des mines;
Vieille, ingénieur des poudres;
Bruneau, ingénieur des poudres, *secrétaire.*

avait été attaché temporairement à la commission des substances explosives, qui voulut bien étudier attentivement la question, et fit connaître ses conclusions dans un rapport rédigé par M. Aguillon et approuvé dans la séance du 2 décembre 1880 (1).

La commission émettait l'avis que, la température d'inflammation du grisou étant de 600° à 700°, il n'existait aucun explosif dont la température de détonation fût inférieure à ce chiffre. D'autre part, elle considérait comme à peu près impossible de trouver un procédé dont on puisse affirmer qu'il empêche avec certitude le contact de la flamme de l'explosif avec le grisou.

Commission anglaise. — La commission anglaise du grisou, instituée peu après la commission française, a clos ses recherches en 1886 seulement (2). Ses travaux sur les substances explosives furent dirigés par sir F. Abel, l'un de ses membres les plus illustres.

Il fut constaté que la poudre noire, enfermée dans des trous de mine, de 2 pieds de profondeur, bourrés complètement à l'eau, allumaient quatre fois sur six, en débourrant, un mélange d'air et de grisou.

Sur les indications de sir Francis Abel, on remplaça la poudre noire par la dynamite, le fulmicoton comprimé ou le fulmicoton mêlé à une proportion d'azotate (salpêtre ou azotate de baryte) nécessaire pour la complète combustion de son carbone. Dans des expériences faites avec des trous débourrants, il fut constaté qu'une charge de 3 onces (93^{gr}) de dynamite, placée au fond d'un trou de mine de $0^{m},60$ et bourrée seulement avec $0^{m},15$ à $0^{m},16$ de sable, allumait un mélange détonant d'air et de grisou.

Une charge d'un des explosifs brisants ci-dessus mentionnés, placée au fond d'un trou de mine et bourrée avec des cylindres remplis d'eau (procédé Mac-Nab), n'enflamma pas des mélanges d'air et de grisou non détonants par eux-mêmes, mais rendus inflammables par l'addition d'une quantité suffisante de poussière

(1) Voir 1, 183.

(2) *Final Report of Her Majesty's Commissionners appointed to inquire into Accidents in Mines* (15 mars 1866). Voir aussi : *Accidents in Mines* by sir F. Abel. (Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers (24 mai 1887).

de houille. Dans des conditions identiques, et avec les mêmes mélanges, la poudre noire produisait l'inflammation.

Sir F. Abel avait proposé, en 1873, de faire détoner les explosifs au milieu de l'eau, de manière à produire sur les parois du trou une répartition parfaitement égale de la pression (1). Il eut l'idée de recourir à ce procédé, pour assurer la sécurité. Des expériences faites dans le charbon montrèrent que, si le procédé de sir F. Abel avait de réels avantages économiques, surtout dans le tirage au charbon, il produisait à peu près les mêmes effets que le procédé Mac-Nab au point de vue de la sécurité. Les mélanges d'air et de grisou rendus détonants par la présence de la poussière n'étaient jamais allumés, mais, sur 42 coups tirés avec la dynamite, on produisit six fois l'allumage d'un mélange d'air et de grisou.

M. Galloway ayant proposé de placer directement au-dessus de l'explosif de la mousse imbibée d'eau, la Commission constata que ce procédé avait à peu près, avec un léger avantage, le même effet que l'eau.

La commission n'obtint aucun résultat satisfaisant par l'emploi d'un procédé assez singulier, proposé par M. Galloway et consistant à placer, au-dessus de la cartouche, de l'acide carbonique liquéfié renfermé dans des cylindres en fer.

Elle repoussa d'ailleurs l'emploi, comme bourrage, de matières solides susceptibles de donner, sous l'influence de la chaleur, un dégagement considérable d'eau ou de gaz, telles que le carbonate de soude cristallisé, le calcite, etc. Sir F. Abel fit remarquer avec raison que le temps manquerait certainement, à cause de la soudaineté de la détonation, pour que le dégagement prévu pût se produire.

En résumé, la commission anglaise préconise l'emploi de la dynamite gélatinée (comme résistant mieux à l'action de l'eau). La cartouche étant placée au fond du trou, elle recommande de verser

(1) On a proposé et breveté, pour maintenir la cartouche au sein de l'eau, sous le nom de *cartouche Settle*, un sac en papier imperméable, du diamètre du trou de mine, que l'on remplit d'eau, et dans l'axe duquel la cartouche explosive est maintenue. A cet effet, la cartouche s'engage dans un cylindre en fer-blanc muni d'ailettes. — Sir F. Abel conteste formellement la validité du brevet.

de l'eau pour remplir le vide existant entre les parois de la cartouche et celles du trou, de bourrer ensuite avec de la mousse imbibée d'eau sur la moitié de la hauteur du trou, et d'achever le remplissage avec l'eau. Elle fait remarquer que ce procédé, suffisant contre les mélanges d'air et de grisou non détonants par eux-mêmes, mais rendus détonants par la présence de la poussière de houille, n'a pas une efficacité certaine lorsque le mélange d'air et de grisou est réellement détonant par lui-même.

La commission se prononce d'ailleurs nettement contre l'emploi de la mèche Bickford et pour celui de l'électricité.

Commission prussienne. — La commission prussienne du grisou, instituée le 6 octobre 1880, a publié les résultats de ses recherches au fur et à mesure de l'avancement des travaux.

La plupart des expériences entreprises par elle sur les explosifs ont été faites dans le courant de 1885, et les résultats, après avoir été mentionnés dans divers journaux techniques, furent publiés officiellement en 1886 (1). De nouvelles expériences ont été faites, dans les mêmes conditions que les premières, de mai à septembre 1887, et les résultats n'en ont été publiés que dans les derniers cahiers du *Journal officiel des mines* pour 1887 (2).

Les expériences de la commission prussienne étaient faites dans une longue galerie artificielle, construite sur le plâtre de la mine König, près de Neunkirchen (Saarbruck). On pouvait, avec des toiles, isoler dans cette galerie un compartiment de 20^{mc} de capacité, dans lequel on faisait arriver le grisou capté de la mine, de manière à former un mélange détonant. La composition de ce mélange était connue par l'abaissement de la cloche du gazomètre dans lequel le gaz était renfermé.

Les cartouches explosives étaient, soit posées à terre, soit bourrées au fond de trous de $0^m,50$ à $0^m,60$ de profondeur, percés dans des blocs de grès ou de charbon de $0^m,80$ à 1^m de longueur, $0^m,70$ à $0^m,80$ de largeur et $0^m,50$ d'épaisseur. Les blocs étaient recouverts d'une couche de $0^m,20$ à $0^m,30$ de poussière de houille. Le

(1) *Anlagen zum Haupt-Berichte der Preussischen Schlagwetter Commission*, B. IV, p. 63-78.

(2) *Zeitschrift für Berg-Hütten- und Salinen-Wesen.* B. XXXV, 3 et 4. H. p. 271 et 852 (1887).

sol de la galerie était recouvert de poussière de houille sur 10^m à 20^m de longueur.

La détonation du grisou était constatée en observant, à travers des fenêtres convenablement placées, la flamme produite par cette détonation.

Les résultats obtenus par la commission prussienne ont été assez peu concordants, et ses conclusions ont notablement varié avec le temps.

Ces contradictions nous semblent tenir, en outre de celles qui tiennent au sujet même, que nous avons aussi rencontrées, et dont la raison sera expliquée plus loin, à plusieurs causes, parmi lesquelles les principales nous paraissent être les suivantes :

1° On opérait souvent avec des mélanges trop peu riches en grisou et à peu près ininflammables (5 à 7 pour 100 de grisou);

2° On n'avait pas de moyen de s'assurer que l'explosif avait détoné d'une façon sérieuse. Nous verrons plus loin que cette condition est de toutes la plus importante à connaître.

Quoi qu'il en soit, les principaux résultats auxquels est successivement arrivée la Commission sont les suivants :

La *dynamite* qui, jusqu'en juin 1885, n'avait allumé qu'une fois le grisou en détonant à l'air libre, l'a à peu près constamment allumé dans les expériences de juillet de la même année. La Commission a attribué ce changement à la substitution d'une dynamite *maigre,* c'est-à-dire dans laquelle la nitroglycérine est très bien absorbée par la silice, à une dynamite *grasse,* d'où la nitroglycérine a quelque tendance à exsuder.

La *dynamite-gomme* (1), en 1885, n'avait jamais allumé le grisou à l'air libre, et ne l'avait enflammé qu'une fois fortement bourrée au fond d'un trou de mine, avec un gaz tenant 9 pour 100 de grisou.

En 1887, on a obtenu l'inflammation par la détonation à l'air libre. En revanche, on n'a pas obtenu, même avec de fortes charges (280^{gr}), l'allumage du mélange gazeux à 10 pour 100 de grisou, lorsque la cartouche était bourrée dans des trous de mine percés dans des blocs de grès.

---

(1) La dynamite-gomme est formée par une dissolution de coton-poudre dans la nitroglycérine.

La *dynamite-gélatine* n° 1 (1) n'a pas allumé le grisou en 1885; en 1887, elle a allumé le grisou et les poussières de houille, en détonant à l'air libre. Mais une charge de 300^{gr} bourrée au fond d'un trou de mine n'a pas allumé le mélange gazeux à 10 pour 100 de grisou, tandis que dans les mêmes conditions une charge de poudre noire de 230^{gr} produisit l'explosion.

La *dynamite-gélatine* n° 3 (2), qui détone difficilement, a allumé le grisou en détonant à l'air libre, en 1885 et 1887.

Le *coton-poudre comprimé* (3) n'a allumé le grisou en détonant, soit à l'air libre, soit bourré au fond d'un trou, ni en 1885, ni en 1887.

Le *coton-poudre mêlé de* 50 *pour* 100 *d'azotate de baryte*, non essayé en 1885, a allumé le grisou en 1887, en détonant à l'air libre.

La *hellhoffite* (4) n'a pas allumé le grisou en 1885, en détonant soit à l'air libre, soit bourrée au fond d'un trou de mine. Les expériences n'ont pas été reprises en 1887.

La *carbonite* est formée d'un mélange de salpêtre, de cellulose, et d'un mélange de nitroglycérine avec une huile sulfurée particulière (5). Les inventeurs avaient proposé deux sortes de cette matière. Le n° 1 alluma la poussière de houille seule. Le n° 2 se montra pleinement sûr, dans 42 essais faits avec des cartouches de 100^{gr}, en détonant au milieu de mélanges tenant jusqu'à 9 pour 100 de grisou. On l'employa alors en grand dans la mine König, pour l'avancement de trois galeries au charbon du puits grisouteux de Carlowitz.

On eut cinq fois des explosions dans des mélanges très faiblement détonants de grisou et de poussière; la présence du grisou était à peine signalée par la lampe à benzine, et il y avait peu de

(1) Mélange de 65 pour 100 de dynamite-gomme et de 35 pour 100 d'une poudre formée de salpêtre et d'un corps carboné (cellulose, charbon).

(2) Mélange de 25 pour 100 de dynamite-gomme et de 65 pour 100 de la même poudre que ci-dessus.

(3) On ne donne pas sa teneur en azote.

(4) Mélange de dinitrobenzol et d'acide azotique concentré.

(5) Sir F. Abel (*Min. of Proc. of the Inst. of civil Eng.*, loc. cit.) dit la carbonite formée de salpêtre, de nitrate de baryte, de nitrobenzol et de cellulose. Il n'admet pas qu'elle puisse procurer la sécurité, parce que, dit-il, son explosion doit être accompagnée de flammes.

poussière de houille. Pour quatre de ces cinq cas, les coups travaillèrent bien; pour le cinquième, le coup débourra, ce qui paraît n'être pas rare avec la carbonite, la sécurite et la roburite. Quatre des charges étaient de quatre à quatre cartouches et demie de 100^{gr}; pour le coup débourrant et pour un autre des cinq coups, la charge était seulement de deux à deux et demie cartouches. Tandis que les quatre coups qui ont travaillé n'ont donné que des explosions locales, le coup débourrant a allumé la houille elle-même.

On fit alors de nouvelles expériences dans la galerie de recherches, et avec 400^{gr} de carbonite on enflamma deux fois sur cinq la poussière de houille.

Il faut ajouter que la faible puissance de l'explosif, qui d'ailleurs lui donnait, dans le travail au charbon, une supériorité sur les explosifs brisants, ne permettait pas d'employer dans la mine de faibles charges.

La *kinétite,* de composition complexe, contenant du chlorate de potasse, n'a pas allumé le gaz. La présence du chlorate de potasse rend cette substance trop dangereuse pour que l'emploi puisse en être recommandé.

Quant à la *sécurite,* formée de dinitrobenzol et d'azotate d'ammoniaque en diverses proportions, avec une résine nitrée et des traces de naphtaline et d'azotate de soude, deux mélanges différents avaient donné d'assez bons résultats en avril et mai 1887, mais en août de la même année une cartouche de 100^{gr} suspendue dans un mélange gazeux à 10 pour 100 de grisou a produit l'explosion deux fois sur trois.

La *roburite* est composée d'un carbure d'hydrogène nitré (avec du chlore) et d'azotate d'ammoniaque en diverses proportions :

1° La roburite d'ancienne composition, tenant de l'acide picrique, a allumé le gaz lorsque la cartouche était portée à 40°.

2° La torpedo-roburite a allumé le mélange contenant 5 pour 100 de grisou.

3° La berg-roburite I, composée de dinitrochlorobenzol et d'azotate d'ammoniaque, sans acide picrique, a allumé une fois.

4° La berg-roburite II, semblable à la précédente, mais tenant

en outre du phénol, n'a pas donné d'inflammation, même lorsque la cartouche était portée à 40°.

La *lithotrite* de Demeuse (Aix-la-Chapelle) a donné une inflammation.

La poudre *Schulze* de Voltz, Lichtenberg et C^ie^, à Ludwigshafen, ne s'est pas montrée sûre à l'état pulvérulent. La poudre comprimée faiblement a allumé avec 8 pour 100 de grisou. La poudre comprimée fortement n'a jamais allumé.

Les capsules de Bornhardt à 1^er^ n'ont pas allumé, même avec 8 pour 100 de grisou.

M. Hugo Lohmann, après avoir donné, dans le *Journal des mines prussien,* le résumé des expériences de la Commission sur les divers explosifs, termine par ces paroles :

« Après les expériences que nous venons de rapporter, l'auteur est d'avis que l'emploi des explosifs brisants actuellement connus en présence du grisou, et particulièrement aussi dans des travaux contenant la poussière de houille sèche, est beaucoup plus dangereux qu'on n'était porté jusque-là à le supposer, et que l'interdiction d'employer la poudre noire ordinaire et les substances explosives analogues n'aurait sur le nombre des explosions de grisou ou de poussière qu'une influence insignifiante (1). »

La commission prussienne s'est peu occupée des moyens les plus propres à communiquer le feu à l'explosif.

Quelques expériences ont été faites en mai-août 1887 avec la mèche de sûreté. On remplissait la galerie de recherche de mélanges d'air, de poussière de houille et de grisou, dans lesquels le grisou variait depuis 4 pour 100 jusqu'à 6,66 pour 100. Dans un trou de mine, on plongeait l'une des extrémités d'une mèche, dont la partie extérieure était tailladée et dont on allumait l'extrémité libre dans l'intérieur de la galerie. Rien ne se produisait lorsque le mélange ne tenait que 4 pour 100 de grisou; lorsque le grisou

(1) *Zeit. für B. H. und Salinenwesen,* XXXV, B. 44, § 356.

L'Oberbergamt de Bonn s'est, sans doute, inspiré d'idées analogues en rédigeant l'ordonnance de réglementation des mines, du 1^er^ août 1887, dans laquelle le tirage des coups de mines est interdit (sans distinction d'explosifs) dans tous les points de la mine où la lampe constate le grisou. Ce n'est que dans les points où se trouve de la poussière de houille reconnue inflammable qu'une distinction est faite et que la poudre noire est spécialement interdite.

dépassait cette portion, il se produisait pendant quelques secondes une flamme vacillante, très faible, bleuâtre ou jaunâtre, dans la partie supérieure de la galerie au voisinage de la mèche. A 6,66 pour 100, on a obtenu plusieurs fois une faible explosion. Avec 10 pour 100 de grisou, on a obtenu aussitôt une explosion (1).

La commission prussienne a cherché, comme la commission anglaise, à savoir si l'on pouvait obtenir la sécurité en employant les explosifs suivant des méthodes particulières. Elle a simplement expérimenté les cartouches à eau déjà proposées par sir F. Abel. Des cartouches de 20^{gr} de dynamite étaient placées au milieu de sacs en papier Settle, remplis d'eau et posés librement au milieu de la galerie. Dans ces conditions, on n'a pu obtenir l'inflammation du gaz, même avec les plus fortes teneurs en grisou, et en faisant détoner à la fois trois cartouches semblables. Dans une expérience, on fit même détoner à la fois, sans produire l'inflammation du gaz, dix cartouches de 100^{gr} de dynamite, enfermées chacune dans leur sac à eau, au milieu d'un mélange tenant 10 pour 100 de grisou.

On ne parvint à obtenir l'inflammation du mélange grisouteux qu'avec 1^{kg} de dynamite, réparti dans sept sacs à eau placés à la sole de la galerie et recouverts de poussière de houille.

Les sacs en papier avaient $0^{m},50$ de longueur, un diamètre de 30^{mm} pour les cartouches ordinaires, de 40^{mm} pour les cartouches plus fortes. Pour mieux assurer l'enveloppement de la cartouche par l'eau, on glissait au fond du sac un bouchon en bois, et pardessus l'eau on plaçait, avant de lier l'ouverture du sac, une bourre d'argile.

Le rapporteur, M. Hugo Lohmann, conclut en disant que l'emploi des cartouches à eau avec les explosifs brisants donne un haut degré de sécurité, n'est pas absolument sûr dans toutes les circonstances. Il ajoute cependant que l'emploi de ces cartouches entraîne à une manœuvre longue, et n'est économique que dans la

(1) L'allumage des mélanges grisouteux explosifs par la mèche, dans les conditions où se plaçait la commission prussienne, n'était pas douteuse. Si nous citons ces expériences, c'est qu'elles confirment la limite inférieure d'inflammabilité des mélanges d'air et de grisou, qui avait été jadis fixée, par MM. Mallard et Le Chatelier, entre 5,6 et 6 pour 100 de grisou. Comme l'avaient soutenu les mêmes observateurs contre l'opinion de Sir F. Abel, la présence de la poussière de houille n'abaisse pas ou n'abaisse que peu cette limite.

houille, à cause de l'élargissement considérable du trou de mine qu'il nécessite.

Il mentionne d'ailleurs, d'après des communications particulières, que des explosions se seraient produites, malgré l'emploi de cartouches à eau, dans les districts de Derby et de Newcastle, en Angleterre. Il cite aussi une explosion de grisou, mentionnée par M. Joseph Böhm (n° 13 de l'*Oester. Zeitung für. B.-u. H.-W.* de 1887), qui se serait produite dans le forage d'un puits, avec un trou de $1^{m},30$ de profondeur, chargé avec de la dynamite bourrée à l'eau et allumée à l'électricité.

Enfin, la commission a essayé de remplacer l'eau par le carbonate de soude cristallisé. Avec une charge de 100^{gr} de dynamite : on n'a pas eu d'explosion; mais, avec trois cartouches semblables partant simultanément, on a eu deux explosions.

M. Hugo Lohmann attribue l'influence favorable de l'eau et du carbonate de soude au refroidissement produit par une volatilisation partielle de l'eau sous l'influence de la température de la détonation. Nous verrons plus loin que cette opinion est très contestable, et que, conformément aux vues de sir F. Abel, la volatilisation de l'eau du carbonate de soude est, dans ces conditions, très peu vraisemblable. Il est à croire que le même effet eût été obtenu si l'on avait remplacé le carbonate par une matière inerte, telle que du sable très finement pulvérisé.

En terminant, M. Hugo Lohmann mentionne les recherches poursuivies par M. Muller, directeur de la société des explosifs de la Westphalie rhénane, à Cologne, qui a eu l'idée de mêler le carbonate de soude à l'explosif lui-même. Des expériences faites le 31 août 1887, dans la galerie de recherches de la commission, avec un mélange de 10 parties de dynamite à 77 pour 100 de nitroglycérine, et de 7 parties de carbonate de soude, ont donné des résultats favorables. Quelques essais auraient montré que le nouvel explosif, auquel on a donné le nom de *Wetter-Dynamit*, donnait, à cause de l'affaiblissement de ses effets brisants, des résultats économiques satisfaisants dans l'abatage de la houille.

Commission saxonne. — La commission saxonne du grisou (1)

(1) *Uebersicht über die Thätigkeit der Commission zur Revision der berg-*

a fait quelques expériences sur le danger des explosifs en présence du grisou. Ces expériences, d'ailleurs peu nombreuses, n'ont rien appris de nouveau.

Commission autrichienne. — Les travaux de la commission autrichienne du grisou ne sont pas encore connus. Cependant, M. l'ingénieur en chef Johann Mayer donne quelques indications sur ce sujet dans un très intéressant rapport sur un concours ouvert à l'occasion d'un prix de 1000 ducats généreusement offert par les exploitants d'Ostrau-Karwin, à l'auteur de « la découverte d'un procédé pour remplacer le tirage des coups de mine dans les mines à grisou, ou pour le rendre sans danger ».

D'après M. Mayer, le comité local du bassin d'Ostrau-Karwin a constaté que la hellhoffite et la dynamite-gomme bourrées au fond d'un trou de mine n'allument pas un mélange tenant jusqu'à 10 pour 100 de grisou et qu'il suffisait même de recouvrir ces explosifs avec $0^m,05$ ou $0^m,06$ de sable pour empêcher l'allumage du grisou.

Avec la poudre noire l'inflammation du gaz se produit, même lorsque le trou est bourré et qu'il travaille sans débourrer, et à plus forte raison avec la même couverture de sable qui rend inoffensifs les explosifs brisants.

D'un autre côté, des cartouches, détonant sans aucune enveloppe de dynamite-gomme et de hellhoffite (1), ont allumé, à chaque coup, le mélange gazeux explosible.

Ces résultats montrent, dit M. Meyer, que « lorsqu'un explosif détone sans enveloppe, la possibilité de l'inflammation du grisou ou de la poussière de houille ne peut jamais être évitée ».

Il est à remarquer que, d'après les conclusions de la commission prussienne et celles de M. Mayer, on serait ramené, après de

---

polizeilichen Vorschriften in Sachsen. — Jahrbuch für das Berg- und Hüttenwesen im Königreiche Sachsen (1886).

(1) M. Marcrap, dans un article publié par le *Journal des mines prussien* (B. XXXIV, 1886), avait annoncé qu'il n'avait pu allumer les mélanges grisouteux avec la hellhoffite. Des recherches ultérieures, non publiées encore, auraient, d'après M. Meyer, amené M. Marcrap à constater que des cartouches, non enveloppées, de hellhoffite, allument les mélanges grisouteux. M. Scharizer, à Rossitz, aurait même, avec cet explosif, allumé des poussières de houille.

nombreuses expériences assez contradictoires, au résultat qui avait été prévu à priori par la commission des substances explosives, dans son rapport du 2 décembre 1880.

Cependant, M. Mayer conteste la conclusion fort pessimiste de M. Lohmann, que nous avons citée plus haut. Il fait remarquer que des coups de mine chargés avec des explosifs brisants ne débourrent que rarement, et que, lorsqu'ils ne débourrent pas, ils n'enflamment ni les mélanges grisouteux ni les poussières, tandis que des coups chargés avec la poudre noire peuvent allumer les uns et les autres, même sans débourrer. Cela suffit pour montrer le grand avantage qu'on obtient en substituant les explosifs brisants à la poudre noire.

M. Mayer signale le danger grave que fait courir l'emploi de la mèche pour l'allumage des coups de mine. Le tirage dans les points où l'on peut constater le grisou est, il est vrai, interdit; mais la sécurité de la mine repose alors sur le respect, impossible à contrôler, d'une prescription souvent violée en fait. M. Mayer va jusqu'à attribuer à l'emploi de la mèche les deux tiers des accidents causés par le grisou.

Il fait d'ailleurs remarquer que l'emploi de l'électricité peut devenir dangereux avec les étincelles de l'électricité de tension; il le regarde, avec exagération sans doute, comme impossible dans les mines.

On ne s'étonnera plus, après cela, que le jury du concours ait décerné une forte partie du prix proposé, à M. le lieutenant-colonel du génie Lauer, inventeur d'une amorce de friction, placée dans la cartouche, au fond du trou de mine et mise en jeu au moyen d'un fil métallique qui passe à travers un tube engagé dans le bourrage.

D'après M. Mayer, l'allumage, par le procédé de M. Lauer, est actuellement employé d'une manière exclusive dans plusieurs exploitations du bassin d'Ostrau; il peut être employé dans tous les cas, même avec le bourrage à l'eau, et le prix de revient en est très peu plus élevé que celui de la mèche.

Nous ne trouvons plus à mentionner, dans l'intéressant travail de M. Meyer, que quelques renseignements sur la *Wetterdynamit* qui a été expérimentée, au point de vue économique, dans quelques exploitations. On a constaté que cet explosif détonait

difficilement et ne donnait pas, au point de vue de l'effet utile, des résultats absolument satisfaisants.

Tels sont à peu près tous les faits actuellement publiés qui intéressent la question soumise à l'examen de la Commission. Beaucoup d'entre eux ne sont parvenus à notre connaissance qu'au cours de nos recherches, et quelques-uns même après leur achèvement.

Rôle des poussières de houille. — La commission prussienne s'est beaucoup préoccupée du rôle que peuvent jouer les poussières, soit seules, soit mélangées avec le grisou. Deux des membres de la sous-commission (1) ont déjà étudié les expériences prussiennes à ce point de vue et montré qu'elles semblent plutôt confirmer l'opinion qu'ils avaient déjà soutenue et appuyée de recherches personnelles, à savoir que les poussières de houille ne jouent, dans les explosions dont les mines sont le théâtre, qu'un rôle subordonné. Sir F. Abel vient, dans une récente communication à la société des ingénieurs civils de Londres, de donner à cette opinion l'appui de sa haute autorité (2).

L'inflammabilité des mélanges d'air et de poussière de houille est d'ailleurs extrêmement inférieure à celle des mélanges d'air et de grisou, et tout le monde est d'accord pour admettre que de semblables mélanges ne peuvent être allumés que sous l'influence d'un foyer de chaleur intense. Il est donc bien évident qu'un explosif présentant un degré de sécurité reconnu suffisant dans les mélanges les plus détonants d'air et de grisou, sera à fortiori pleinement sûr en présence de mélanges d'air et de poussière.

Nous avons donc considéré comme une complication peu utile

---

(1) Mallard et Le Chatelier, *Sur les travaux de la commission prussienne du grisou* [*Ann. des mines*, 8e série, t. IX, p. 338 (1886)].

(2) *The Institution of civil Engineers. Minutes of Proceedings.* — 24 mai 1887; p. 174 et suiv. du tirage à part. — Voici les paroles de Sir F. Abel auxquelles nous faisons allusion : « M. Bedlington a, dans l'opinion de l'auteur (Sir F. Abel), exprimé l'avis rationnel, en ce qui regarde la question des poussières, quand il a avancé que, bien qu'il ne fût pas convaincu que la poussière seule pût suffire à produire des explosions importantes, qui devraient être alors bien plus nombreuses qu'elles ne sont, il admettait que, dans les points où la poussière existait en grande quantité, les explosions en étaient grandement aggravées. »

des expériences de mettre en suspension de la poussière de houille dans nos mélanges gazeux.

Nous avons cependant fait quelques expériences avec des poussières et nous les citerons ici pour n'avoir plus à y revenir.

Nous avons constaté que la dynamite détonant à l'air libre, au milieu de poussières de houille très fines et très inflammables (1), n'enflamme pas ces poussières.

La dynamite, brûlant sans détoner, peut, au contraire, allumer la poussière, comme nous l'avons observé en plaçant un pétard de $5o^{gr}$ de dynamite dans un trou cylindrique percé au milieu d'un bloc en bois, recouvert de poussière de houille et en allumant la dynamite avec une mèche Bickford sans amorce fulminante.

Un pétard de $5o^{gr}$ de dynamite, placé dans un tube en étain de 25^{mm} de diamètre intérieur et de 40^{mm} de diamètre extérieur, bourré, sur 12^{cm} de hauteur, par de la poussière de houille très fine, n'a pas allumé le grisou.

Commission instituée par M. le ministre des travaux publics. — A la suite de la publication de la première série des expériences de la commission prussienne, qui semblait attribuer une sécurité presque complète à l'emploi de certains explosifs, M. le ministre des travaux publics institua, le 12 février 1887, une commission (2) chargée de l'étude des questions se rattachant à l'usage des explosifs dans les mines à grisou.

Dès ses premières séances, cette commission jugea nécessaire de reprendre les expériences de la commission prussienne. Après une entente entre MM. les ministres de la guerre et des travaux publics, il fut décidé que la commission des substances explosives,

---

(1) Nous avons employé les poussières de houille de Blanzy, que deux des membres de la sous-commission, MM. Mallard et Le Chatelier, avaient employées dans les expériences faites pour la commission française du grisou (*Ann. des mines*, 8e série, I, p. 5; 1882).

(2) La commission est composée de :

MM. Haton de la Goupillière, inspecteur général des mines, *président;*
Sarrau, ingénieur en chef des poudres et salpêtres;
Mallard, inspecteur général des mines;
Lorieux, inspecteur général des mines;
Aguillon, ingénieur en chef des mines;
Le Chatelier, ingénieur des mines, *secrétaire.*

instituée près du ministère de la guerre, serait chargée de cette étude expérimentale. MM. Mallard, Aguillon et Le Châtelier lui furent, à cet effet, adjoints temporairement.

La commission des substances explosives, dans sa séance du 31 mars 1887, désigna une sous-commission, dont nous avons fait connaître la composition, pour procéder aux recherches nécessaires.

Dès le 4 avril, cette sous-commission arrêta le programme des expériences qui furent continuées sans interruption, et dont on va faire connaître les résultats.

CHAPITRE PREMIER.

DESCRIPTION DES APPAREILS ET DES PROCÉDÉS D'EXPÉRIMENTATION.

Les recherches de la commission prussienne avaient été faites en se rapprochant le plus possible des conditions de la pratique. Il y aurait eu peu d'intérêt à les répéter en suivant les mêmes errements.

Nous prîmes le parti d'observer dans des conditions aussi parfaitement définies que possible et de conduire nos recherches comme une véritable étude scientifique.

Nous espérions ainsi nous rendre compte des anomalies qu'avaient signalées les expériences prussiennes, et même pouvoir formuler quelques lois dont les conséquences seraient immédiatement applicables à la pratique.

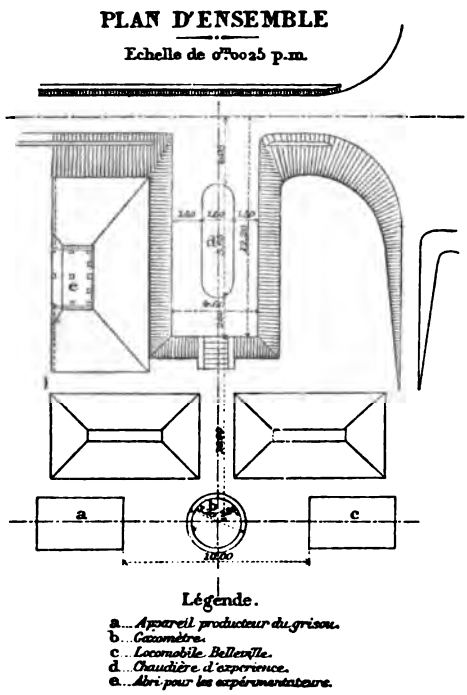
N'ayant pas à notre disposition de source de grisou naturel, nous devions avoir recours au formène fabriqué artificiellement, et nous avons employé le procédé le plus commode, c'est-à-dire l'action de la chaleur sur un mélange d'acétate de soude et de chaux sodée.

Nous voulions faire détoner les explosifs dans une enceinte bien close, afin de pouvoir faire un dosage exact de grisou mélangé à l'air, de pouvoir étudier complètement les conditions de la détonation des explosifs, enfin d'être toujours bien certains de l'inflammation ou de la non-inflammation du mélange grisouteux. Nous avons, pour remplir ces conditions, choisi une chaudière à vapeur d'une capacité de 10^{mc} environ.

L'installation des appareils fut faite à la poudrerie de Sevran-Livry, sous la direction de M. Lambert, directeur de cet établis-

sement, et de M. Bruneau, ingénieur des poudres. Elle est figurée ci-dessous (fig. 1) d'une manière générale. Elle comprend :

Fig. 1.



Plan général de l'installation.

1° Un appareil producteur de formène (a);

2° Un gazomètre destiné à recueillir le gaz fabriqué (b);

3° Une petite chaudière à vapeur Belleville destinée à fournir la vapeur pour le service d'un injecteur (c);

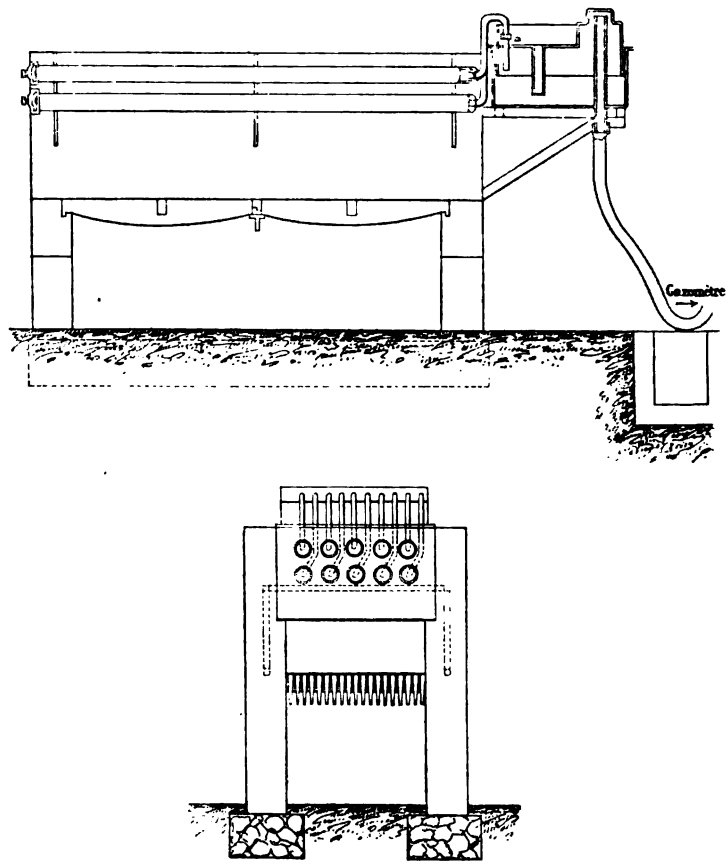
4° Une chaudière en tôle, timbrée à $8^{atm},5$, munie d'un éjecteur (d);

5° Un abri pour les expérimentateurs (e).

Appareil de production de formène. — L'appareil employé pour la production du formène nous a été obligeamment fourni par l'atelier d'aérostation de Meudon; il avait été imaginé et utilisé par lui pour la préparation de l'hydrogène destiné au gonflement

des aérostats. Il se compose de dix tubes ou cornues en fer, de $2^{m},35$ de longueur (fig. 2), munis d'obturateurs en fonte à l'une

Fig. 2.



Élévation et coupe de l'appareil qui sert à préparer le formène.

de leurs extrémités, et à l'autre d'un prolongement fileté d'un diamètre plus faible que le corps même du tube cylindrique. Ces cornues, disposées sur deux rangées horizontales au-dessus d'une grille, sont maintenues à l'aide de trois plaques percées de trous, encastrées dans les murs latéraux du fourneau.

A l'extrémité du fourneau se trouve un barboteur jusqu'au fond

duquel pénètrent des tubes recourbés reliés aux cornues à l'aide de raccords filetés; enfin, un tuyau de 60^{mm} de diamètre traverse le barboteur en aboutissant au dôme et le relie au petit gazomètre.

Le chargement de cet appareil est obtenu en introduisant dans les cornues des gouttières ou coupelles dans lesquelles on a préalablement placé le mélange d'acétate de soude et de chaux sodée. La charge de chacune d'elles est d'environ 2^{kg} de mélange pulvérisé.

Les cornues étant chargées, on allume un feu de fagots, que l'on mène lentement en répartissant le bois uniformément sur toute la surface de la grille. Les gaz, après avoir traversé l'eau contenue dans le barboteur, se rendent dans le petit gazomètre *b*.

Chaudière d'expérience. — La chaudière employée pour les expériences (fig. 3) mesure extérieurement 5^{m},627 de longueur et 1^{m},50 de diamètre; l'épaisseur des tôles qui la composent est de 16^{mm} pour la partie cylindrique et de 14^{mm} pour les bouts hémisphériques; son volume intérieur, sans tenir compte du réservoir pour la transmission de la pression au manomètre enregistreur, est de 10^{mc},171.

Cette chaudière est munie, à sa partie supérieure, d'un trou d'homme elliptique T de 350^{mm} sur 450^{mm}; d'un trou rectangulaire *t*, placé dans le milieu de la longueur, mesurant 50^{mm} sur 100^{mm}, pour l'entrée des pétards et d'un trou E de 50^{mm} de diamètre intérieur, sur lequel on a fixé un éjecteur à vapeur.

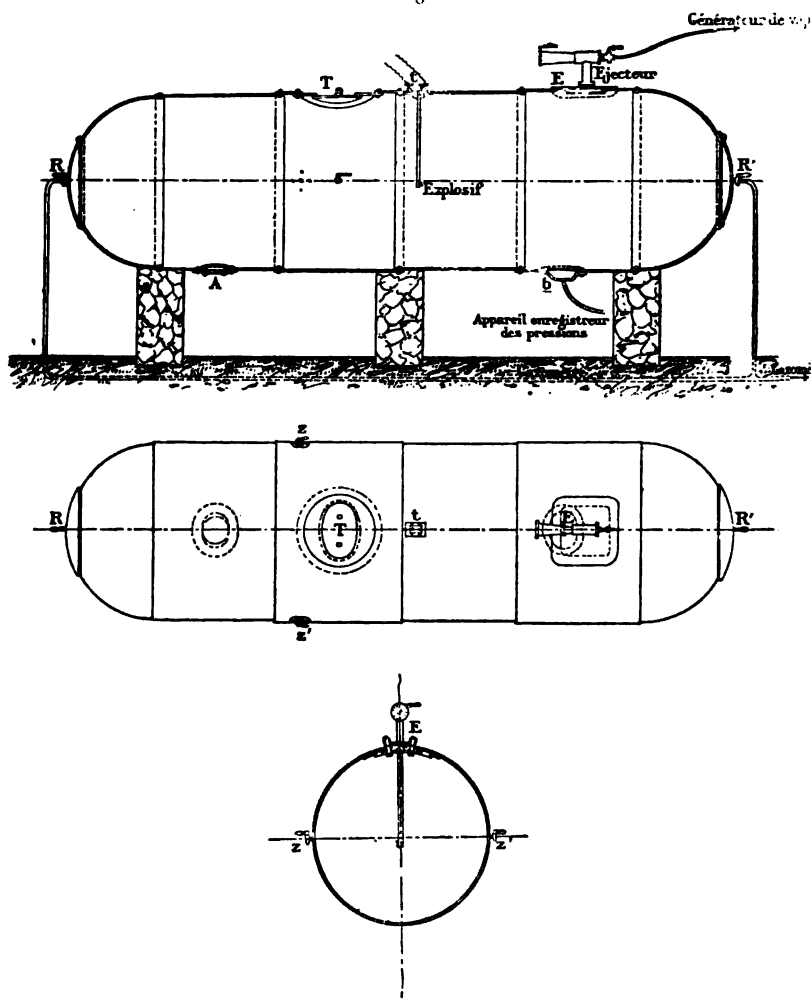
A la partie inférieure se trouvent, à l'une des extrémités, un trou circulaire A de 100^{mm} de diamètre pour l'aération de la chaudière, et, à l'autre, une bride *b* destinée à fixer le tuyau en plomb qui la relie à l'appareil enregistreur des pressions (1).

Sur la section horizontale passant par l'axe, on trouve quatre robinets de 10^{mm} et deux bouchons en bronze. Les deux robinets placés R, R′ aux extrémités de la chaudière sont reliés au gazomètre: un troisième *r*, latéral, est en communication avec un tube plongeant dans l'eau qui permet de constater le vide obtenu

(1) Cet appareil enregistreur, reconnu inutile, a été abandonné après les premières expériences.

en faisant fonctionner l'éjecteur; enfin, un quatrième r', aussi latéral, est relié à un manomètre à eau formé par un tube en U.

Fig. 3.



Coupe longitudinale, plan et coupe transversale de la chaudière.

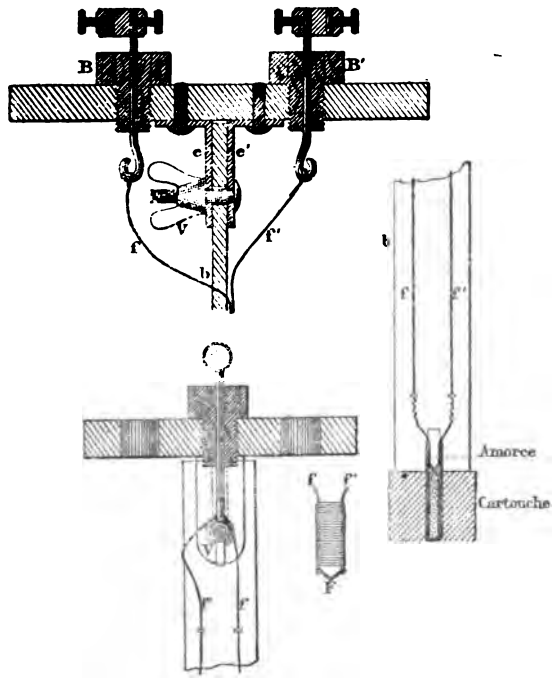
L'un des bouchons en bronze est muni de deux fils de cuivre isolés, ce qui permet, soit de faire passer une étincelle dans le mélange gazeux, soit de porter au rouge un fil de fer fin.

Les cartouches des divers explosifs à essayer sont introduites

par le trou rectangulaire situé à la partie supérieure de la chaudière. On peut aussi les introduire par le trou d'homme, lorsque leur diamètre est trop considérable; on s'est rarement servi de ce procédé, qui allonge l'opération.

Pour faire détoner les explosifs, on fait ordinairement usage de l'électricité. A cet effet, la plaque de fermeture est munie de deux bouchons en gaïac B et B′ (fig. 4) filetés qui la traversent. Dans

Fig. 4.



Détail de la fixation de la cartouche au couvercle qui ferme le trou de la chaudière.

l'axe de chacun d'eux, on a fait passer une tige en cuivre également filetée, débordant au dehors et terminée à sa partie inférieure par un crochet. Enfin, au centre de la plaque de fermeture se trouvent deux petites équerres *e*, *e′* en cuivre dont les ailes libres sont réunies par une vis de pression V, ce qui permet de saisir et fixer une baguette en bois *b* de 750^{mm} de longueur à l'extrémité de laquelle

on attache l'explosif en essai. Ces baguettes, en sapin de 30^{mm} sur 5^{mm} d'équarrissage, sont munies de fils de cuivre f, f' qui permettent de réunir l'amorce électrique aux crochets de la plaque de fermeture et de former ainsi un circuit fermé.

Gazomètre. — Le gazomètre mesure $2^{m},80$ de diamètre et 1^{m} de hauteur, ce qui donne une capacité de $6^{mc},15$ environ.

Générateur de vapeur ou éjecteur. — Le générateur de vapeur utilisé pour faire fonctionner l'éjecteur est une locomobile Belleville, de la force de 12 chevaux; un robinet placé sur le détendeur de vapeur permet de faire traverser l'éjecteur par un courant de vapeur sous une pression de 10^{atm} à 12^{atm}; ce dernier appareil permet de produire un vide de 150^{cc} d'eau en une à deux minutes.

Exécution d'une expérience.

Avant d'exécuter une expérience, la chaudière est aérée. La bride qui ferme le trou de 100^{mm} de diamètre, placé à la partie inférieure, est enlevée; on envoie un courant de vapeur dans l'éjecteur et on laisse fonctionner cet appareil pendant sept à huit minutes; toutes les autres issues de la chaudière étant fermées, il se produit un courant d'air traversant la chaudière dans sa longueur et de haut en bas. Cette opération terminée, on ferme toutes les ouvertures et l'on introduit l'explosif à essayer.

La cartouche fixée sur la baguette en sapin est munie d'une amorce allumable à l'aide d'un courant électrique; les fils de cuivre de la baguette sont reliés à la fois à ceux de l'amorce et aux crochets des petites pièces en cuivre qui traversent les bouchons en gaïac de la plaque de fermeture; il suffit donc, pour obtenir la détonation de l'explosif, de fixer les fils de la pile aux extrémités des tiges en cuivre qui émergent au-dessus de la plaque et de fermer le circuit.

Ce dispositif permet d'attacher à l'avance sur des baguettes les explosifs à essayer : il ne reste plus alors qu'à fixer la baguette entre les deux petites équerres, à l'aide de la vis de pression, et à enrouler les fils sur les crochets. Cette opération, très facile, peut être réalisée rapidement. La plaque de fermeture étant en place, la

cartouche se trouve sur l'axe de la chaudière et dans le plan médian.

Les joints terminés, on fait fonctionner l'éjecteur et l'on suit l'ascension de la colonne d'eau dans le tube en verre relié à la chaudière à l'aide d'un tuyau en caoutchouc.

Le vide étant reconnu suffisant, on ferme le couvercle de l'éjecteur, préalablement enduit de blanc de céruse, de manière à obtenir un joint hermétique, et l'on s'assure, par l'invariabilité de la colonne d'eau, que la chaudière ne présente pas de fuite.

Cette constatation faite, la chaudière est mise en communication avec le petit gazomètre et l'on ouvre, en même temps, les robinets placés aux deux extrémités de la chaudière pour laisser pénétrer le grisou; on suit la marche descendante de la colonne d'eau, de manière à obtenir la proportion voulue d'air et de formène.

Le grisou pénétrant dans l'air raréfié avec une vitesse de plusieurs mètres à la seconde, il se produit un premier brassage, augmenté par la rentrée d'air que l'on fait ensuite par les mêmes points, après avoir fermé la communication avec le gazomètre. Cette rentrée d'air est obtenue en enlevant les robinets placés aux extrémités de la chaudière.

La pression barométrique étant rétablie dans l'intérieur de l'appareil, on ferme tous les robinets et l'on remplace la bride qui fixe l'éjecteur par une bride pleine.

On peut alors exécuter un essai; c'est à ce moment que l'on peut constater la composition du mélange gazeux, en prélevant des prises de gaz.

On attache les fils conducteurs aux petites tiges de la plaque d'introduction des pétards et l'on ferme le circuit. Lorsque l'explosif employé produit l'inflammation du mélange gazeux, on en est averti par l'élévation de température des parois de la chaudière, ainsi que par la pression considérable que produit immédiatement l'inflammation du mélange d'air et de formène, et qui est suivie d'une dépression lorsque la vapeur d'eau est condensée.

On avait pensé à enregistrer les pressions au moyen d'un manomètre enregistreur, analogue à celui qui avait servi dans les expériences de MM. Mallard et Le Chatelier sur les mélanges gazeux explosifs; mais les indications du manomètre étaient inutiles et allongeaient les expériences : on y a renoncé.

Nature du gaz employé.

Nous avons analysé le gaz combustible produit par nos cornues et emmagasiné dans le gazomètre. Une analyse a donné :

Air	10,8
Gaz absorbables par le brome	7,9
Acide carbonique	0,0
Formène (par diff.)	81,3

L'hydrogène n'a pas été recherché.

Une autre analyse a donné une composition fort peu différente.

La présence de l'air s'explique par ce fait que, pour raison d'économie, on ne rejetait pas le gaz produit pendant la première période de l'application de la chaleur, et qui entraîne avec lui l'air dont les cornues sont remplies au commencement de l'opération.

Défalcation faite de cette quantité d'air, dont il suffit de tenir compte dans le dosage du mélange introduit dans la chaudière, notre gaz n'est pas très éloigné d'être du formène pur et doit avoir des propriétés fort peu différentes.

La combustibilité doit être, il est vrai, un peu augmentée par la présence des hydrocarbures plus carburés absorbables par le brome, mais nous ne croyons pas que cette augmentation puisse être considérée comme très considérable. Nous nous sommes, en effet, assurés que la vitesse de propagation de l'inflammation dans un tube était sensiblement la même pour notre gaz que celle qui avait été jadis déterminée pour le grisou par MM. Mallard et Le Chatelier.

D'ailleurs, il paraît possible que le grisou des mines contienne une quantité notable de carbures d'hydrogène absorbables par le brome, et il semblait plutôt avantageux, au point de vue de la sécurité des conclusions, que le gaz avec lequel on opérait fût un peu plus combustible que celui qu'on peut rencontrer dans la pratique.

Nous avons presque constamment opéré avec un mélange formé en introduisant dans la chaudière un volume de gaz développant une pression de $1^{m},18$ d'eau. Le gaz contenant environ 10 pour 100 d'air, le mélange ainsi constitué renfermait environ 10,3 de formène. C'est à peu près le mélange le plus explosif.

Nous avons constaté que le mélange formé par l'introduction d'un volume de gaz correspondant à une pression de $0^{m},70$ d'eau, soit une proportion de 6,1 pour 100 de formène, développait en brûlant une faible pression et était voisin de la limite inférieure d'inflammabilité.

Nous n'avons pas constaté, au point de vue de la facilité à être enflammés par les explosifs, de différences marquées entre les mélanges tenant de 12,5 pour 100 à 6,1 pour 100 de gaz. Ceci est d'accord avec ce fait constaté par MM. Mallard et Le Chatelier pour l'hydrogène et l'oxyde de carbone, que les températures d'inflammation des mélanges que ces gaz forment avec l'oxygène ne varient pas notablement avec l'introduction de gaz étrangers, particulièrement d'azote et d'oxygène en excès.

CHAPITRE II.

EXPLOSIFS LIBREMENT SUSPENDUS AU MILIEU DE MÉLANGES GRISOUTEUX.

Nous rendrons compte dans ce chapitre des essais faits avec des explosifs librement suspendus, sans enveloppe, au milieu de mélanges grisouteux.

Le chapitre III sera consacré aux expériences faites, en plaçant l'explosif en vase clos.

Le chapitre IV contiendra nos expériences sur les amorces.

Un cinquième et dernier chapitre sera consacré aux conclusions.

Des pièces annexes contiennent le tableau résumé de nos expériences, et deux notes, purement théoriques, rédigées par MM. Mallard et Le Chatelier.

I. — Amorces.

Nous reviendrons sur la question des amorces dans un chapitre spécial. Il nous suffira ici de dire que les amorces *renforcées* à

$1^{gr},5$ et 2^{gr} de fulminate de mercure n'allument pas les mélanges grisouteux, tandis que les amorces renforcées à 5^{gr} les allument.

Nous nous sommes presque constamment servis d'amorces renforcées à $1^{gr},5$, seules ou associées en nombre plus ou moins grand. La détonation était provoquée par un fil que portait au rouge un courant électrique.

II. — Explosifs déjà connus.

Nous avons expérimenté successivement les explosifs suivants, déjà connus et employés :

1° La poudre ordinaire de mine;

2° Le coton-poudre de guerre, d'une teneur en azote correspondant à la production de 205^{cc} de bioxyde d'azote, pour 1^{gr} de matière, dans l'analyse par le procédé Schlœsing, comprimé fortement en cubes de 28^{gr};

3° Le coton-poudre de mine, d'une teneur en azote correspondant à 193^{cc} de bioxyde d'azote, comprimé fortement en cartouches cylindriques de 30^{gr};

4° Le coton-poudre, encore moins nitré, titrant 173^{cc} de bioxyde d'azote, en cartouches comprimées de 50^{gr};

5° La dynamite n° 1 de Vonges, contenant 25 pour 100 de randanite;

6° La dynamite n° 0 de Paulilles;

7° La dynamite à l'ammoniaque de Paulilles:

8° La dynamite-gomme de Paulilles;

9° La dynamite-gélatine de Paulilles;

Toutes ces dynamites en cartouches de 50^{gr};

10° L'explosif Favier;

11° La hellhoffite;

12° La poudre pyroxylée du Moulin-Blanc, analogue à la poudre Schulze, contenant du coton-poudre et de l'azotate de baryte; en cartouches fortement comprimées de 50^{gr};

13° Une poudre, de composition analogue, fabriquée à la poudrerie belge de Wetteren;

14° Un explosif, de composition encore analogue, formé d'un mélange de coton-poudre et d'azotate de baryte;

15° La bellite, proposée récemment par M. Lamm.

Poudre de mine. — La facilité avec laquelle la déflagration de la poudre ordinaire allume le grisou est tellement connue qu'il nous a semblé peu utile de faire porter nos recherches sur ce point.

Nous avons seulement constaté qu'une cartouche de 30^{gr} de poudre suspendue au milieu d'une sorte de poche cylindrique en papier imperméable, remplie d'eau (cartouche *Settle*), a communiqué, en détonant, le feu au grisou. Les dispositifs nombreux, proposés à diverses reprises pour remédier au danger de la poudre dans les mines grisouteuses, en bourrant avec de l'eau, paraissent ainsi condamnés d'une manière définitive.

Dynamites n° 1 de Vonges et n° 0 de Paulilles. — La dynamite de Vonges n° 1 et la dynamite n° 0 de Paulilles sont formées d'un mélange de 75 pour 100 de nitroglycérine et de 25 pour 100 de silice. Elles se sont comportées d'une façon identique. Ces explosifs ont franchement détoné à l'air libre, sous l'influence d'une amorce renforcée de 1^{gr},5 de fulminate, en entraînant toujours l'inflammation du mélange gazeux au milieu duquel la cartouche était suspendue. Toutes nos expériences, très nombreuses, ont donné le même résultat.

Nous avons, en outre, constaté qu'une cartouche de 50^{gr} de dynamite, placée au milieu de la cartouche Settle remplie d'eau, a allumé le grisou une fois sur deux.

Dynamite à l'ammoniaque de Paulilles. — La dynamite à l'ammoniaque est un mélange, en proportions variées, de nitroglycérine, d'azotate d'ammoniaque et d'une matière carbonée destinée à utiliser, en brûlant, l'excès d'oxygène que produisent la détonation de la dynamite et celle de l'azotate.

La dynamite à l'ammoniaque de Paulilles a, en détonant, allumé les mélanges grisouteux, dès qu'ils tenaient plus de 6,1 pour 100 de formène, c'est-à-dire dès qu'ils devenaient nettement inflammables.

Cotons-poudres. — Le coton-poudre de guerre, titrant 205^{cc} (1),

(1) Il correspond à peu près à la cellulose décanitrique

$C^{24}H^{30}Az^{10}O^{40}$.

enfermé dans de très minces étuis en laiton usités pour le service de la guerre, a allumé le grisou une fois sur trois expériences.

Le coton de mine, titrant 193^{cc} (1), un peu moins fortement comprimé que le coton de guerre, et sans enveloppe, a allumé le mélange gazeux dix fois sur dix expériences, avec les plus faibles ($5^{gr},7$ pour 100) teneurs de formène.

Le coton titrant 173^{cc} (2), assez fortement comprimé, et sans enveloppe, détonant sous l'influence de deux amorces de $1^{gr},5$, a enflammé dans la seule expérience qui ait été faite.

Dynamite-gomme et dynamite-gélatine. — La dynamite-gomme est une dissolution de coton-poudre dans la nitroglycérine, formant une sorte de gomme ou plutôt de gélatine. Le coton-poudre, en quantité relativement faible, doit être juste suffisant pour être complètement brûlé par l'oxygène en excès de la dynamite.

La dynamite-gélatine, de composition beaucoup plus variable, est formée de dynamite-gomme additionnée d'un mélange binaire tel qu'azotate de potasse ou de soude et charbon de bois ou sciure de bois.

Par un temps chaud, comme celui que nous avons eu en mai, ces explosifs ont franchement détoné. Pendant l'hiver, leur détonation à l'air libre a presque toujours été partielle, sinon nulle, sous l'influence d'amorces de $1^{gr},5$ et même, pour la dynamite-gélatine, de 3^{gr} de fulminate.

Nous nous sommes assurés très simplement de cette détonation incomplète, en observant la compression produite dans la chaudière par la détonation de la cartouche, lorsque la chaudière était remplie d'air, ou lorsque, la chaudière étant remplie d'un mélange grisouteux, celui-ci n'était pas allumé par l'explosif. Nous nous sommes ainsi assurés que, lorsque le mélange grisouteux n'était pas allumé, la détonation de la gomme ou de la gélatine ne pro-

(1) Il correspond à peu près à la cellulose ennéanitrique

$$C^{24}H^{31}Az^{9}O^{31}.$$

(2) Il est un peu moins nitré que la cellulose octonitrique

$$C^{24}H^{32}Az^{8}O^{32}$$

duisait pas une compression supérieure à quelques centimètres d'eau. La détonation de l'amorce ne produisant pas de compression sensible, la cartouche détonait donc, mais seulement d'une façon très partielle, et, dans ces conditions, n'allumait pas le gaz.

En augmentant la puissance de l'amorce, nous sommes arrivés, pour la gomme et pour la gélatine, à l'inflammation du gaz.

On peut dire que la gomme et la gélatine enflamment le grisou, au milieu duquel elles sont suspendues, toutes les fois qu'elles détonent d'une façon à peu près complète.

Ces faits nous ont conduits à étudier, d'une façon approfondie, le mode de détonation des explosifs à l'air libre. Nous rendrons compte plus loin de nos recherches sur ce sujet.

Hellhoffite. — Nous n'avons pas pu faire détoner la hellhoffite à l'air libre. Cet explosif est, on le sait, formé de dinitrobenzol mélangé avec une fois et demie ou deux fois et demie son poids d'acide azotique. Le mélange est fait au moment de l'emploi, ce qui nous paraît rendre bien difficile l'usage courant de cet explosif dans les mines.

Explosif Favier. — L'explosif dû à M. Favier, tel qu'il a été proposé par lui à la commission des substances explosives, se compose essentiellement d'un mélange de 9 pour 100 de mononitronaphtaline et de 91 pour 100 d'azotate d'ammoniaque, c'est-à-dire tel que la naphtaline nitrée utilise exactement, pour brûler, l'oxygène en excès de l'azotate. Les deux substances sont intimement mélangées et très fortement comprimées. Un trou cylindrique, percé au milieu de la cartouche, du poids de 55^{gr}, contient 5^{gr} d'une matière pulvérulente, qui sert de détonateur intermédiaire et contient principalement du coton-poudre et de la nitroglycérine.

L'explosif de M. Favier ne détone pas à l'air libre. Ce serait plutôt un avantage qu'un inconvénient si l'on était assuré de sa détonation lorsqu'il est bourré dans un trou de mine, et si, dans ces conditions, on n'avait pas à craindre des ratés. Des expériences faites dans les mines pourront seules résoudre cette question. Bourré dans des tubes métalliques, suivant le procédé dont nous

parlerons plus loin, cet explosif ne nous a donné que des détonations très incomplètes, même avec 5^{gr} de fulminate.

Il nous est arrivé une fois, sur deux expériences, d'allumer le mélange gazeux en faisant détoner, sous l'influence de trois amorces renforcées contenant chacune 1^{gr},5o de fulminate, non l'explosif Favier lui-même, dans son état comprimé, mais la matière de cet explosif réduite à l'état de poudre grenue assez fine.

Il nous semble que de nouveaux essais doivent être faits sur cette substance qui, en raison des analogies qu'elle présente avec l'explosif dont il va être question, ne peut être condamnée sans appel au point de vue de la sécurité.

Dans tous les cas, il serait nécessaire de supprimer le détonateur intermédiaire, qui, à lui seul, paraît susceptible d'enflammer les mélanges grisouteux.

Bellite. — La bellite, proposée récemment par M. Lamm, serait, au dire de l'inventeur, composée de 80 parties d'azotate d'ammoniaque et de 20 parties de binitrobenzine.

Cet explosif détone complètement en vase clos, comme nous le verrons plus loin.

A l'air libre il détone incomplètement sous l'influence de 1^{gr},5o de fulminate. Sa détonation est encore incomplète, quoique plus importante, avec 3^{gr} de fulminate.

Deux expériences ont été faites dans ces dernières conditions, par un jour chaud et humide, sans qu'il y ait eu inflammation du grisou.

La composition de la bellite, telle qu'elle est indiquée par M. Lamm, ne paraît pas être exacte. Des essais de pression faits dans la bombe ont donné en effet, à la densité de chargement o, 3, une pression de 2500^{kg} environ, tandis que la pression théorique (d'après des calculs dont nous parlerons plus loin) devrait être, avec cette densité, de 3300^{kg} environ.

Le mélange de 20 parties de binitrobenzine et de 80 parties d'azotate d'ammoniaque a donné, dans les mêmes conditions, une pression de 3800^{kg}, qui se rapproche davantage du chiffre théorique, mais qui s'éloigne considérablement de celui qui a été obtenu avec la bellite.

Une cartouche de 50^{gr} faite avec ce mélange n'a d'ailleurs pas

allumé le mélange gazeux au milieu duquel on l'a fait détoner (1 expérience).

Cotons-poudres à l'azotate de baryte. — Nous avons essayé une poudre fabriquée, il y a quelques années, à la poudrerie du Moulin-Blanc, et qui se trouvait dans les magasins de Sevran. D'après l'analyse de M. Bruneau, elle avait la composition :

Azotate de baryte	42,6
Coton-poudre	57,4

Une cartouche de cet explosif détonant au milieu du mélange gazeux l'a allumé.

Une poudre pyroxylée de la poudrerie de Wetteren (Belgique), qui est aussi un mélange de coton-poudre et d'azotate de baryte, a de même allumé le gaz.

Poudre pyroxylée du Moulin-Blanc. — La poudre pyroxylée, fabriquée à la poudrerie du Moulin-Blanc, est un mélange composé de :

Cellulose azotique (titrant de 175^{cc} à 185^{cc} de bioxyde d'azote)	60
Azotate de baryte	30
Salpêtre	6
Gélose	3
Paraffine	1
	100

Cette substance, qui est vendue au public comme poudre de chasse grenée, a été employée par nous sous forme de cartouches prismatiques très fortement comprimées et paraffinées superficiellement. Elle détone assez bien à l'air libre, sous l'influence d'une amorce de 1^{gr},5.

Dans les quatorze essais que nous avons faits avec cette substance suspendue au milieu d'un mélange grisouteux, il ne nous est arrivé que deux fois de voir la détonation de l'explosif entraîner l'inflammation du gaz.

Ces deux expériences ont été faites par un jour très chaud et très lourd, c'est-à-dire très humide; la chaudière, énergiquement chauffée par le soleil, était brûlante extérieurement, et nous avons

constaté, dans l'intérieur, une température supérieure à 40°. C'est à ces conditions d'état atmosphérique que nous étions tentés d'attribuer ces deux expériences en quelque sorte anormales. Nous reviendrons sur ce point.

III. — Recherche d'explosifs nouveaux n'allumant pas le grisou.

L'exemple de la poudre pyroxylée paraissait montrer qu'il n'était pas impossible de trouver un explosif qui, en détonant sans enveloppe, n'allume pas les mélanges grisouteux. On pouvait donc chercher à fabriquer de semblables explosifs et à connaître les conditions générales auxquelles ils doivent satisfaire.

Dynamite et carbonate de soude cristallisé. — Comme on l'a vu dans l'historique, une société prussienne pour la fabrication des explosifs a songé à mêler à la dynamite le carbonate de soude cristallisé et pulvérulent.

Nous avons constaté qu'un mélange intime de dynamite n° 1 de Vonges avec du carbonate de soude cristallisé, pulvérisé très finement, n'allume pas le grisou en détonant sans enveloppe, lorsque le mélange des deux substances est fait à poids égaux (3 expériences).

Dynamite et sulfate de soude cristallisé. — On songea à remplacer le carbonate de soude par le sulfate de soude à $10^{éq}$ d'eau. On a constaté que le mélange de dynamite et de sulfate de soude, à parties égales, n'allume pas le grisou (1 expérience), tandis que le mélange contenant 2 parties de dynamite pour 1 partie de sulfate l'allume (1 expérience).

Dynamite et alun ammoniacal. — Le sulfate et le carbonate de soude sont non seulement efflorescents, mais sont susceptibles aussi de devenir déliquescents avec des conditions atmosphériques qu'on peut rencontrer dans les mines; nous avons pensé à les remplacer par un sel très hydraté, très stable, et ayant l'avantage de se volatiliser à peu près complètement, en se décomposant à haute température, l'alun d'ammoniaque.

Un mélange de dynamite et d'alun à poids égaux n'a pas allumé le gaz (2 expériences).

Un mélange de 2 parties de dynamite et 1 partie d'alun n'a allumé le grisou qu'une seule fois sur 3 expériences; un mélange de 4 parties de dynamite et 1 partie d'alun l'a allumé (1 expérience).

Dynamite et chlorhydrate d'ammoniaque. — Si, dans les mélanges précédents, les substances ajoutées à la dynamite agissent en employant une partie de la chaleur de la détonation à la volatilisation de l'eau, l'emploi d'un sel hydraté n'est cependant pas indispensable. Il suffit que le sel soit susceptible de se décomposer à haute température, en absorbant de la chaleur; il est d'ailleurs avantageux, au point de vue de l'effet utile, que les produits de la décomposition soient gazeux.

Nous avons pensé au chlorhydrate d'ammoniaque, qui est très stable à la température ordinaire et se décompose en ne donnant que des gaz à température élevée. Il est nécessaire que le chlorhydrate soit très finement pulvérisé, ce qui présente quelque difficulté, et très intimement mélangé.

Avec des mélanges contenant 67 parties de dynamite et 33 parties de chlorhydrate, le gaz a été allumé.

Avec des mélanges tenant 60 parties de dynamite et 40 parties de chlorhydrate, nous n'avons eu d'inflammation qu'une fois sur 3 expériences.

Avec des mélanges à poids égaux, nous n'avons pas eu d'inflammation du gaz (3 expériences).

Dynamite et poussière de houille. — La plupart des houilles donnent aisément, lorsqu'elles sont portées à une température un peu élevée, des produits volatils. Il était donc permis de penser que les mélanges de la poussière de houille avec la dynamite produiraient le même effet que les mélanges précédemment indiqués.

On s'est servi de poussières de trois espèces de houille différentes. L'une, venant de Blanzy, donne, par la calcination en vase clos, 40 pour 100 de matières volatiles; la deuxième, provenant de Drocourt (Pas-de-Calais), donne 27,86 pour 100 de matières volatiles); la troisième enfin, venant de Dourges (Pas-de-Calais), contient 23,60 de matières volatiles.

Des mélanges tenant 1 partie de dynamite et 1 partie de poussière de houille de Blanzy (2 expériences); 2 parties de dynamite pour 1 partie de poussière de houille (1 expérience) et même 4 parties de dynamite pour 1 partie de poussière (1 expérience) n'ont pas allumé le grisou.

A poids égaux, il n'y a eu inflammation ni avec la poussière de Drocourt (1 expérience), ni avec celle de Dourges (1 expérience).

Ces résultats sont intéressants, mais il n'y aurait pas lieu de chercher, dans des mélanges de dynamite et de poussière de houille, un explosif présentant quelque sécurité; car, malgré les résultats de nos expériences, il nous semble possible que, pour des houilles un peu plus inflammables, ou dans des circonstances particulières, difficiles à préciser, la poussière de la houille portée à une haute température vienne brûler à l'air. Le résultat obtenu avec le lignite rend cette réserve nécessaire.

Dynamite et poussière de lignite de couleur brune (*Braunkohle*). — Les lignites donnent encore plus de matières volatiles que les houilles.

Nous avons fait pulvériser sous les meules un lignite brun provenant d'Allemagne, qui se trouvait à la poudrerie de Sevran, et donnait 62,40 de matières volatiles.

Un mélange de 2 parties de dynamite et 1 partie de lignite a allumé le grisou.

On se rend aisément compte de ce résultat, en apparence contradictoire avec les précédents, en observant que non seulement le lignite est beaucoup plus inflammable que la houille, mais encore que sa distillation donne naissance à une sorte de braise inflammable à basse température.

Dynamite et azotate d'ammoniaque. — Guidés par des raisons théoriques que nous exposerons plus loin, nous avons expérimenté des mélanges de dynamite et d'azotate d'ammoniaque. Ces mélanges diffèrent d'ailleurs de ceux qui sont connus sous le nom de *dynamites à l'ammoniaque* en ce que, n'ayant pas pour but d'accroître l'effet mécanique de l'explosif, nous ne cherchions pas, en ajoutant une matière carbonée, à utiliser l'excès d'oxygène de la dynamite et de l'azotate.

Un mélange intime de 20 parties de dynamite n° 1 de Vonges et de 80 parties d'azotate détone franchement à l'air et, dans 2 expériences, n'a pas allumé le mélange gazeux.

L'azotate d'ammoniaque ne joue pas ici tout à fait le même rôle que les substances telles que le chlorhydrate d'ammoniaque, puisqu'il est lui-même un explosif et par conséquent dégage de la chaleur en se décomposant en Az, O et H^2O. Mais il en dégage moins que la dynamite, et l'effet explosif du mélange se trouve ainsi atténué. Nous reviendrons d'ailleurs sur la théorie de ces phénomènes.

Coton-poudre et chlorhydrate d'ammoniaque. — Nous avons aussi songé à mélanger le coton-poudre avec diverses substances. Le mélange est plus difficile; il a été opéré sous les meules légères de la poudrerie.

Nous avons d'abord expérimenté des mélanges de coton-poudre de mine avec du chlorhydrate d'ammoniaque.

Un mélange de 80 parties de coton de mine et de 20 parties de chlorhydrate n'a pas allumé le grisou (1 seule expérience), mais un mélange de 75 parties de coton et de 25 parties de chlorhydrate l'a allumé. Il faudrait, pour arriver à une suffisante sécurité, augmenter la proportion de chlorhydrate, mais on arrive rapidement à des substances ne détonant plus. Nous avons donc renoncé à de semblables mélanges.

Coton-poudre et azotate d'ammoniaque. — Nous avons alors eu recours aux mélanges de coton et d'azotate d'ammoniaque. MM. Sarrau et Vieille ont fait une étude complète du mélange contenant 60 parties de coton endécanitrique et 40 parties d'azotate d'ammoniaque, dans lesquels l'oxygène de l'azotate suffit, avec un très léger excès, pour achever la combustion complète du coton.

Les cartouches fabriquées, il y a quelques années, au Moulin-Blanc avec cette composition ne détonaient pas ou détonaient mal. Nous avons fait fabriquer à Sevran de nouvelles cartouches en employant, soit le coton-poudre de guerre titrant 205^{cc} de bioxyde d'azote, soit un coton beaucoup moins nitré titrant seulement 173^{cc}.

Les cartouches contenant 30 parties de coton de guerre et 70 parties d'azotate ont enflammé deux fois sur trois.

Les cartouches contenant 20 parties de coton de guerre et 80 parties d'azotate ont enflammé une fois sur deux.

Une cartouche contenant 35 parties de coton à 173 et 65 d'azotate a enflammé le grisou.

Les cartouches contenant 20 parties de coton à 173 et 80 parties d'azotate n'ont pas enflammé le gaz. Les sept expériences faites en produisant la détonation assez franche avec deux amorces de $1^{gr},5$ sont concordantes.

Il semble donc que les cartouches contenant sur 100 parties 20 parties de coton faiblement nitré présentent une assez grande sécurité. Il est permis de penser que, sans compromettre la détonation au moins en vase clos, on pourra diminuer la proportion de coton, ce qui assurera mieux encore la sécurité.

En résumé, il résulte nettement de nos expériences qu'on peut, en mélangeant à un explosif des substances qui ne détonent point par elles-mêmes ou qui produisent des effets de détonation moindres que l'explosif lui-même, atténuer en quelque sorte la puissance de celui-ci, et fabriquer ainsi des explosifs binaires qui, tout en produisant des effets mécaniques suffisants, ne provoquent plus, au moins dans la très grande majorité des cas, en détonant sans enveloppe, l'inflammation des mélanges grisouteux qui les entourent.

Nous appelons aussi l'attention sur un point important. Avec les explosifs simples, tels que la dynamite, l'inflammation du grisou, si l'explosif est susceptible de la produire, se produit toujours à coup sûr.

Pour certains mélanges binaires, les phénomènes paraissent aussi bien constants; mais, pour beaucoup d'autres, l'inflammation, en quelque sorte capricieuse, peut se produire tel jour et manquer tel autre. Nous verrons plus tard comment on peut expliquer cette singularité.

IV. — Recherches théoriques.

Mode d'inflammation spécial des mélanges grisouteux. — Deux des membres de la sous-commission, dans des recherches

antérieures (1), ont évalué à 650° environ la température d'inflammation du grisou. Mais les mêmes observateurs ont fortement insisté sur le *retard considérable à l'inflammation* que peuvent présenter les mélanges de grisou avec l'air ou même avec l'oxygène. Ce retard est naturellement d'autant plus grand que la température à laquelle est porté le mélange diffère moins de 650°; à cette température même le retard peut atteindre une dizaine de secondes.

Cela permet de comprendre la possibilité de ce fait, en apparence paradoxal, qu'au milieu d'un mélange gazeux inflammable à 650° il peut se produire, sans que l'inflammation du mélange en résulte, des gaz dont la température est, comme nous allons le voir, supérieure à 2000°. Mais ces gaz ont été formés par la *détonation* d'un explosif, ils se produisent subitement et sous une pression très élevée; ils se détendent et se refroidissent avec une extrême rapidité (quelques millièmes de seconde), avant d'avoir eu le temps d'allumer le mélange de grisou et d'air avec lequel ils viennent en contact.

Aussi les expériences précédentes donneraient-elles un résultat tout différent si elles étaient faites au milieu d'un gaz autre que le grisou. C'est ainsi qu'une cartouche d'un mélange à parties égales de dynamite et de poussière de houille de Blanzy, qui n'allume pas les mélanges grisouteux, allume les mélanges d'air et de gaz d'éclairage (2).

Ces derniers mélanges montrent cependant encore un certain retard à l'inflammation; pour les mélanges d'air et d'hydrogène, le phénomène est bien peu marqué, s'il existe, et nous avons constaté qu'une amorce renforcée à $1^{gr},5$ de fulminate, qui n'allume ni le grisou, ni le gaz d'éclairage, allume l'hydrogène.

Température de détonation des explosifs. Formules qui permettent de la calculer. — On est habitué à ne considérer les explosifs qu'au point de vue de ce qu'on appelle leur force, c'est-à-dire de l'intensité des effets mécaniques qu'ils peuvent produire.

---

(1) Mallard et Le Chatelier, *Recherches sur la combustion des mélanges gazeux explosifs* [*Ann. des Mines*, 8e sér., t. IX, p. 274 (1883)].

(2) Les expériences avec les gaz d'éclairage sont commencées; elles ne sont pas encore achevées.

Nous avons ici à les considérer à un point de vue différent. L'élément capital, pour nous, ce n'est pas la force développée, mais la température produite. Nous sommes ainsi amenés à chercher à calculer la température de détonation d'un mélange pour lequel on donne la composition, la loi de sa décomposition et les données thermochimiques qui la caractérisent.

La marche de ces calculs est bien connue. Comme il nous importait d'obtenir des chiffres aussi voisins que possible des températures réelles de détonation, nous avons tenu compte de l'accroissement des chaleurs spécifiques des gaz, qui a été établi par les expériences de MM. Berthelot et Vieille et par celles de MM. Mallard et Le Chatelier. Nous nous sommes servis des formules linéaires données par ces derniers pour l'acide carbonique, la vapeur d'eau et les gaz dits parfaits [gaz simples, oxyde de carbone, acide chlorhydrique, etc. (1)].

Nous avons appliqué ces calculs à de nombreuses substances explosives, et particulièrement aux mélanges de dynamite et d'azotate d'ammoniaque, de cellulose endécanitrique avec l'azotate d'ammoniaque, enfin de cellulose octonitrique avec l'azotate d'ammoniaque. Les résultats sont représentés graphiquement par les courbes (fig. 5, 6 et 7). Pour chacun des six mélanges ci-dessus, nous donnons deux courbes, ayant toutes les deux pour abscisses les poids de matières étrangères (azotate, chlorhydrate, etc.), qui existent dans dix parties en poids du mélange. L'une des courbes a pour ordonnées les températures de détonation t, l'autre la quantité f, qui définit en quelque sorte la puissance de l'explosif et qui est représentée par l'expression

$$f = \frac{v_0 T \times 1{,}033}{\varpi \times 273},$$

dans laquelle

v_0 est le volume des gaz produits par l'explosion, ramenés à 0° et à la pression 760^{mm} de mercure;

ϖ le poids de ces gaz;

T la température absolue de l'explosion.

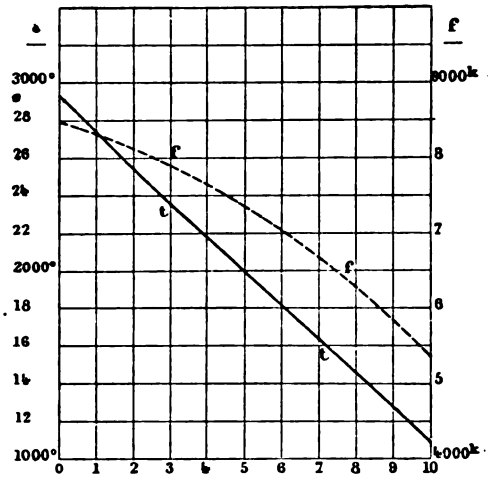
---

(1) Voir à la suite du rapport la note théorique rédigée par MM. Mallard et Le Chatelier. (Note A.)

Avec la dynamite et l'azotate d'ammoniaque, la décomposition

Fig. 5.

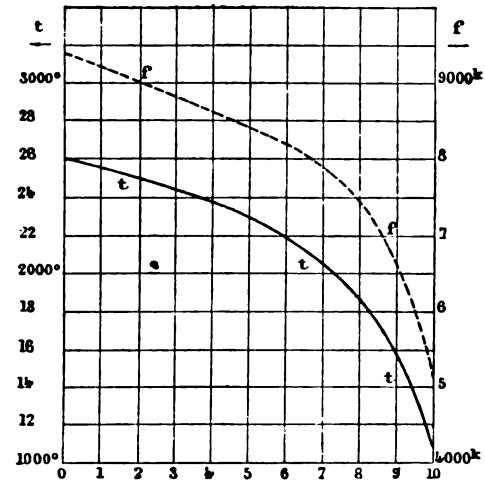
Dynamite et azotate d'ammoniaque.



Parties d'azotate pour 10 parties de mélange.

Fig. 6.

Cellulose endécanitrique et azotate d'ammoniaque.



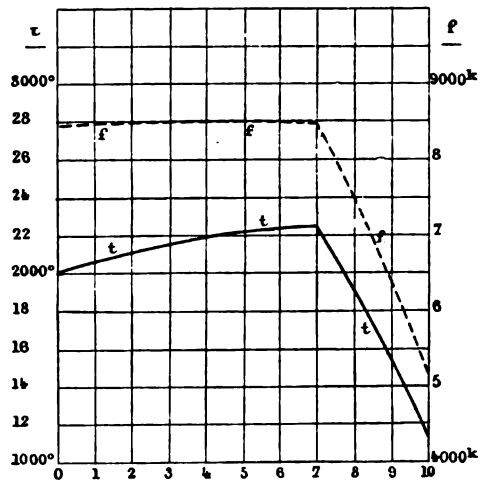
Parties d'azotate pour 10 parties de mélange.

se fait avec excès d'oxygène, les gaz sont complètement brûlés.

Avec les celluloses azotiques et l'azotate d'ammoniaque, on a admis un mode de décomposition qui est indiqué dans la note de MM. Mallard et Le Chatelier (note A) jointe à notre rapport.

Fig. 7.

Cellulose octonitrique et azotate d'ammoniaque.



Parties d'azotate pour 10 parties de mélange.

Pression développée par les explosifs. — Formules qui permettent de la calculer. — Nous avons essayé de contrôler l'exactitude des résultats donnés par nos calculs en les comparant aux mesures de pression faites par MM. Sarrau et Vieille.

La pression P, développée dans un volume V, sous la densité de chargement Δ, peut être obtenue en se servant de la formule de Clausius

$$\left[\frac{P}{p_0}+\frac{c}{T\left(\frac{V}{v_0}+\beta\right)^2}\right]\left(\frac{V}{v_0}-u\right)=\frac{T}{273},$$

où c, β, u sont des coefficients propres à chaque gaz.

Pour les températures élevées qui nous occupent, et tant que le rapport $\frac{V}{v_0}$ n'est pas trop petit, le terme $\frac{c}{T\left(\frac{V}{v_0}+\beta\right)^2}$ est tout à fait négligeable.

Quant au coefficient u, qu'on désigne sous le nom de *covolume*, il est à peu près le même pour tous les gaz, comme cela résulte des expériences de M. Amagat et des calculs de M. Sarrau, et on peut le prendre égal à 0,001 (1).

On a donc

$$\frac{P}{p_0}\left(\frac{V}{v_0} - u\right) = \frac{T}{273}.$$

Si l'on remarque qu'avec la densité de chargement Δ on a

$$V = \frac{\varpi}{\Delta},$$

cette formule devient

$$P = \frac{\dfrac{p_0 v_0 T}{\varpi \times 273}\Delta}{1 - \dfrac{u v_0}{\varpi}\Delta} = \frac{f\Delta}{1 - \alpha\Delta},$$

formule connue, dans laquelle les coefficients f et α peuvent être calculés théoriquement, de manière qu'on peut comparer les chiffres théoriques aux chiffres expérimentaux.

Comparaison des pressions théoriques avec les pressions expérimentales. — Pour faire cette comparaison plus aisément, nous avons mis l'équation précédente sous la forme

$$\frac{P}{\Delta} = \alpha P + f.$$

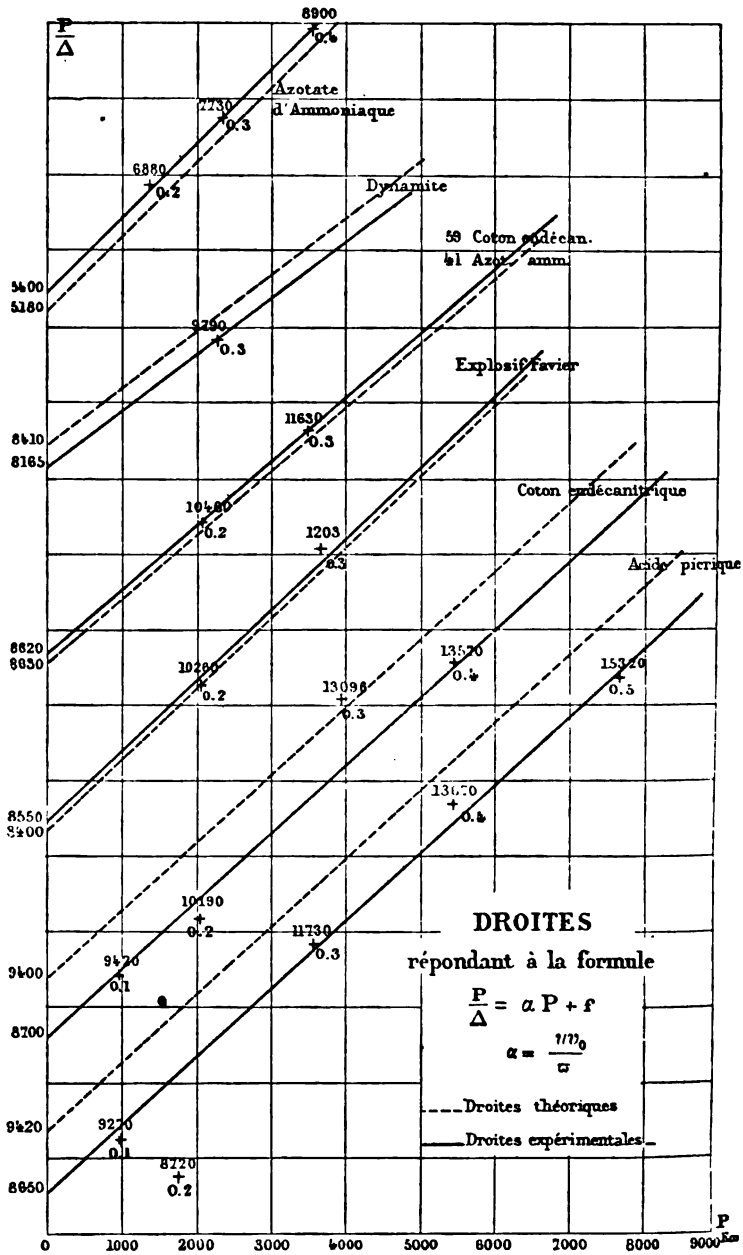
La ligne qui a $\frac{P}{\Delta}$ pour ordonnées et P pour abscisses doit être une droite dont le coefficient angulaire est α et l'ordonnée à l'origine est f.

La fig. 8 donne le tracé des droites représentées par cette équation, pour l'azotate d'ammoniaque, la dynamite, le coton-poudre, le mélange de 60 parties d'azotate d'ammoniaque et de 40 parties de cellulose endécanitrique, l'explosif Favier, la cellulose endécanitrique et l'acide picrique.

Chacune des droites a été tracée avec le coefficient angulaire α calculé. La droite en points longs de la figure est la droite théorique, la droite pleine est celle qui passe le mieux possible, tou-

(1) Voir la note A.

Fig. 8.


P/Δ
8900
0.6
Azotate
d'Ammoniaque
7230
0.3
6880
0.2
Dynamite
59 Coton collodéon.
41 Azot. amm.
5400
5180
8290
0.3
Explosif favier
11630
0.3
8410
8165
10480
0.2
1203
0.3
Coton endécanitrique
Acide picrique
8620
8030
10280
0.2
13570
0.4
15320
0.5
13098
0.3
8550
8200
13670
0.5
10190
0.2
11730
0.3
9420
0.1
9400
8700
9420
9270
0.1
8650
8720
0.2
DROITES
répondant à la formule
P/Δ = α P + f
α = π/π₀ / ϖ
Droites théoriques
Droites expérimentales
P
Kg
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000
8000
9000

jours avec le même coefficient angulaire α, par les points expérimentaux.

La différence entre la droite théorique et la droite expérimentale est, pour l'azotate d'ammoniaque ainsi que pour l'explosif Favier et pour le mélange de coton et d'azotate, inférieure aux erreurs possibles d'observation et de calcul. Pour la dynamite, la différence n'est que de $\frac{1}{30}$. Cet accord est supérieur à ce qu'il était permis d'espérer.

Pour le coton-poudre, la différence atteint $\frac{1}{10}$, en prenant les derniers chiffres de pression indiqués par MM. Berthelot et Vieille dans leur mémoire sur le fulminate de mercure, chiffres qui ne sont pas parfaitement concordants. Mais on a affaire ici à une substance dont le mode de décomposition sous l'influence explosive est incertain. Les calculs ont été faits en admettant le mode de décomposition, non pas directement observé, mais admis par MM. Sarrau et Vieille, comme étant la limite vers laquelle tend le mode observé.

Les observations relatives à l'acide picrique se placent très correctement sur une droite ayant l'inclinaison α calculée. L'écart entre cette droite et la droite théorique est du même ordre que celui qui se présente avec le coton-poudre. L'acide picrique est aussi une substance dont le mode de décomposition est incertain.

Ces exemples suffisent, croyons-nous, à montrer que le mode de calcul que nous employons représente les faits avec une assez grande exactitude. On peut donc calculer d'avance, avec une précision suffisante, la température et la pression développées par la détonation d'un explosif quelconque, de composition connue, à condition qu'on connaisse le mode de décomposition de cet explosif sous l'influence de la détonation.

Les courbes calculées des fig. 5 à 10 représentent donc assez correctement les phénomènes, si la décomposition de l'explosif se fait conformément au mode admis dans le calcul.

V. — Étude expérimentale du mode de détonation des explosifs à l'air libre.

Détonation incomplète des explosifs à l'air libre. — L'expérience a montré qu'un mélange contenant 67 parties de dynamite

et 33 de chlorhydrate enflamme le grisou; qu'un mélange contenant 40 pour 100 de chlorhydrate l'enflamme rarement; enfin, qu'un mélange contenant 50 pour 100 de chlorhydrate ne l'enflamme pas. Or, en nous reportant à la courbe qui représente les températures de détonation de ces mélanges, nous trouvons que le mélange qui contient 33 pour 100 de chlorhydrate développerait une température de 1500°; celui qui contient 40 pour 100 une température de 1100°; celui qui contient 50 pour 100 une température de 395°; si la décomposition pouvait chaque fois être supposée complète. Cette supposition est d'ailleurs certainement inexacte pour le mélange à 50 pour 100, puisque, à la température de 395°, le chlorhydrate n'est pas décomposé. En admettant l'exactitude de l'hypothèse pour les autres mélanges, on arriverait à conclure que la température, que les gaz de l'explosion ne doivent pas dépasser pour allumer le grisou, est inférieure à 1600°. Nous verrons plus loin que cette conclusion est inexacte.

On doit conclure de là que les explosifs, surtout ceux qui sont formés de mélanges binaires, ne se décomposent pas toujours à l'air, tant s'en faut, d'une manière complète.

Procédé d'expérimentation. — Il nous a semblé intéressant d'étudier ce fait avec précision. Nous avons, à cet effet, mesuré la quantité de chaleur développée dans la détonation d'un explosif à l'air libre, en transformant, en quelque sorte, notre chaudière en calorimètre. Nous faisons détoner, dans la chaudière fermée et remplie d'air, une cartouche exactement pesée. Un manomètre à eau permet d'observer, à des intervalles de temps connus, à partir du moment de la détonation, l'excès de pression $P' - P$ de l'air de la chaudière sur la pression initiale. Une courbe représentant ces observations permet d'obtenir, par une extrapolation, la pression développée au moment même de la détonation, laquelle est directement inobservable à cause du choc imprimé à cet instant à l'eau du manomètre. La fig. 12 montre des exemples des courbes ainsi tracées. La signification précise des courbes figurées sera indiquée plus loin.

Les mesures ainsi faites sont évidemment assez grossières; elles suffisent cependant pour atteindre le but que nous avons en vue.

Le volume de la chaudière étant de $10^{m3},170$, le volume des

gaz développés par l'explosion de la cartouche (dont le poids est de 50^{gr} ou de 100^{gr}) est relativement insignifiant. L'augmentation de pression de l'air dans la chaudière est donc dû, à très peu près uniquement, à l'élévation de la température de cet air, portée de t' à t par l'effet de la chaleur Q que développe la détonation. Si l'on appelle ϖ le poids de l'air de la chaudière, c sa chaleur spécifique à volume constant, on a

$$\varpi c(t'-t) = Q.$$

D'ailleurs, P′ et P étant les pressions évaluées en mètres d'eau, après et avant la détonation, $T = t + 273$ la température absolue de l'air avant l'explosion, P sa pression en eau, on a

$$\frac{P'-P}{P} = \frac{t'-t}{T};$$

d'où

$$P'-P = \frac{P}{T}\frac{Q}{\varpi c}.$$

On a, d'autre part,

$$P = 10{,}33 \times \frac{H}{760},$$

$$H = 10{,}170 \times 1{,}293 \times \frac{273}{T} \times \frac{H}{760};$$

d'où l'on déduit enfin, en posant $c = 0{,}168$,

$$P'-P = 0{,}017\,Q$$

ou

$$Q = 58{,}4(P'-P).$$

Résultat expérimental pour la dynamite. — Elle détone à peu près complètement à l'air libre. — Considérons d'abord la dynamite. Nous avons trouvé (courbe N, fig. 9) qu'une cartouche de 50^{gr} de dynamite de Vonges à 75 pour 100, détonant à l'air libre, développe une pression

$$P'-P = 0{,}83.$$

On en déduit

$$Q = 48{,}5,$$

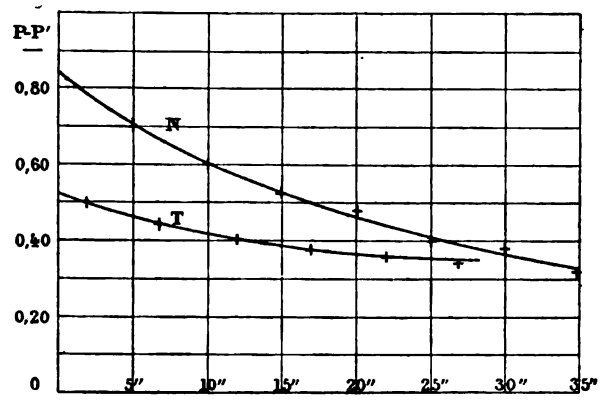
soit, pour 100^{gr},

$$Q = 97.$$

Or on peut évaluer à 1110^{cal} la chaleur produite par la décom-

position complète de la dynamite, soit $55^{cal},5$ pour 50^{gr}. Mais la silice absorbe une certaine quantité de chaleur qui est représentée (la température de détonation de la dynamite étant égale à 2900° et la chaleur spécifique de la silice étant 0,19) par 138^{cal}. Si l'on admet que cette quantité de chaleur n'est pas immédiatement res-

Fig. 9.



N, courbe des pressions pour une cartouche de 50^{gr} de dynamite, sans enveloppe;

T, courbe pour une cartouche de 50^{gr} de dynamite bourrée dans un tube d'étain de 25^{mm} sur 40^{mm}.

tituée à l'air de la chaudière, la quantité de chaleur Q ne serait plus, pour 10^{gr}, que de 97,2. Ce nombre est assez peu différent de celui qu'on a observé expérimentalement pour qu'on en puisse conclure que la détonation de la dynamite à l'air libre provoque sa décomposition complète.

Résultats expérimentaux pour divers explosifs. — Si nous faisons des calculs analogues pour d'autres explosifs, nous trouverons les résultats contenus dans le tableau suivant :

	POIDS de la cartouche.	POIDS du fulminate de l'amorce.	P′ — P observé.	Q déduit pour 1005r.	Q théorique pour 1005r.
Dynamite à 75 pour 100	50 gr	1,5	0,83	97,0	97,2
Coton de guerre (titrant 205cc)....	50	1,5	0,72	88,0	104,0
Coton de mine (à 193cc)	50	1,5	1,48	172,0	103,0
Dynamite-gomme (de Paulilles) ..	40	1,5	0,56	80,2	153,5
	50	1,5	0,69	80,6	
Bellite.....	50	1,5	0,25	29,2	100,2 (1)
	Id.	Id.	0,28	32,7	
	Id.	3,0	0,34	39,8	
Poudre pyr. du Moulin-Blanc	50	1,5	0.445	51,0	82 dissoc. de CO^2 BaO
	Id.	Id.	0,52	60,8	
	Id.	Id.	0,60	70,0	
	65	Id.	0,61	54,7	
58P coton, 42P azotate de baryte....	50	1,5	0,70	82,0	81 dissoc. de CO^2 Ba O
20P de coton à 173cc, 80P azotate amm.	50	1,5	15	17,5	80,0
25P id. 75P id.	Id.	3,0	41	48,0	91,0
35P id. 65P id.	Id.	1,5	43	50,0	102,0
60P id. 40P id.	30	Id.	35	68,1	96,0
80P id. 20P id.	Id.	Id.	63	123,0	82,0
90P id. 10P id.	Id.	Id.	94	183,0	76,0
20P dynamite, 80P d'ammoniaque...	50	1,5	0,225	26,4	50,0
67P id. 33P alun d'amm.....	50	1,5	0,445	52,0	53 (2)
50P id. 50P chlorhydr. d'amm.	50	1,5.	0,42	49,2	10 (3)
60P id. 40P id.	50	1,5	0,44	51,5	35
67P id. 33P id.	50	1,5	0,53	62,0	49

(1) Calculé en admettant 175 binitrobenzine, 825 azotate d'ammoniaque.

(2) Quantité de chaleur calculée en admettant la combustion complète de la nitroglycérine et la simple déshydratation de l'alun.

(3) Ces quantités de chaleur sont calculées en admettant la décomposition du chlorhydrate en Cl H + Az + H^2, la combustion complète de la nitroglycérine et la combustion d'une faible quantité d'hydrogène par l'oxygène en excès de la dynamite.

Ce tableau montre que la dynamite détone à peu près complètement à l'air libre, comme nous l'avons déjà dit plus haut.

Le coton-poudre de guerre (titrant 205^{cc}) s'approche aussi beaucoup de la détonation complète dans les mêmes conditions.

Pour le coton-poudre de mine, ainsi que pour certains mélanges, pauvres en azotate, de coton à 173 et d'azotate d'ammoniaque et pour les mélanges de dynamite et de chlorhydrate d'ammoniaque, la quantité de chaleur dégagée par la détonation est supérieure à la quantité de chaleur théorique.

Dans la plupart des autres explosifs, la quantité de chaleur dégagée par la détonation est au contraire inférieure à la quantité théorique; on doit en conclure que ces explosifs ne détonent que fort imparfaitement à l'air libre.

Cette détonation incomplète est sans doute due à ce que les réactions prévues par la théorie, et qui se produisent réellement en vase clos, comme nous le constaterons plus loin, n'ont pas le temps de se produire à l'air libre, dans le temps infiniment court pendant lequel les gaz sont maintenus au contact. Non seulement les réactions sont très incomplètes, mais il peut se faire des réactions toutes différentes de celles qui étaient prévues. M. Berthelot a beaucoup insisté sur cette variation possible dans la nature des décompositions et des réactions, pour l'azotate d'ammoniaque particulièrement.

On conçoit d'ailleurs que le phénomène doit être bien plus accusé encore pour les explosifs binaires, dans lesquels on suppose: 1° que la détonation d'une des deux substances entraîne celle de l'autre, et 2° que les gaz produits par ces deux détonations simultanées réagissent les uns sur les autres. Ces deux hypothèses peuvent manquer à la fois, ou la première peut se réaliser sans la seconde.

Le premier cas doit être celui des mélanges de dynamite et de chlorhydrate d'ammoniaque, qui développent une quantité de chaleur peu inférieure à celle que donnerait la détonation de la dynamite seule. La vitesse de décomposition du chlorhydrate est sans doute trop faible pour que cette décomposition ait le temps de se produire, et la détonation de la dynamite n'a d'autre effet que de décomposer une très faible partie de ce sel et de projeter le reste, qui se comporte comme une matière inerte. Nous verrons

plus loin que la décomposition du chlorhydrate n'a pas davantage le temps de se faire, lorsque l'explosif est bourré dans un tube d'étain de 25^{mm} sur 40^{mm}.

L'alun d'ammoniaque, mélangé à la dynamite, semblerait se comporter autrement que le chlorhydrate, puisque la quantité de chaleur observée est presque égale à celle que l'on déduirait de la détonation de la dynamite et de la déshydratation de l'alun. Nous verrons cependant plus loin qu'il y a lieu de mettre en doute cette conclusion.

Ces faits expliquent d'ailleurs très bien les phénomènes capricieux que les explosifs, surtout les explosifs binaires, produisent, en détonant à l'air libre, au point de vue de l'inflammation du grisou. Lorsqu'un explosif ne détone pas complètement, les réactions que produit sa détonation ne peuvent être définies avec précision, et, sous l'influence de circonstances secondaires, peuvent varier beaucoup. Elles varieront notamment lorsque l'explosif sera sollicité à détoner par une amorce plus ou moins puissante; lorsque l'explosif, au moment de la détonation, sera porté à une température plus ou moins élevée, l'élévation de la température ayant pour résultat de rapprocher d'une détonation complète, etc.

Les anomalies rencontrées dans les expériences prussiennes et dans les nôtres reçoivent ainsi une explication satisfaisante.

On conçoit de la sorte que la sécurité d'un explosif, détonant incomplètement à l'air libre, ne peut être assurée d'une façon complète si, parmi tous les modes de décomposition possibles pour cet explosif, il s'en trouve un seul susceptible d'allumer le grisou.

Le but que l'on doit se proposer dans la recherche d'un explosif d'une sécurité parfaite, s'il en existe un, c'est donc ou bien de trouver un explosif détonant toujours complètement à l'air sans allumer le grisou, ou bien de trouver un explosif qui ne puisse prendre en détonant partiellement aucun mode de décomposition susceptible d'allumer le grisou.

Phénomène particulier présenté par les cotons peu nitrés détonant à l'air libre. — Un fait très curieux et qui paraît paradoxal, c'est que le coton de mine comprimé allume toujours le grisou, et que le coton de guerre comprimé, bien que plus nitré, et ayant une température de détonation plus élevée, ne l'allume

pas toujours. Nos expériences de détonation expliquent cette anomalie.

En effet, la détonation d'une cartouche de $5o^{gr}$ de coton de guerre a donné deux fois une compression égale à 0,72, qui correspond à très peu près, comme nous l'avons vu, à la décomposition complète du coton.

Une cartouche de $5o^{gr}$ de coton de mine a produit deux fois de suite une compression relativement énorme, que notre manomètre ne nous a permis d'enregistrer qu'imparfaitement, mais qui doit être supérieure à $1^{m},48$, correspondant à 86^{cal}, soit 1720^{cal} pour 1^{kg}. La décomposition du coton de mine (coton ennéanitrique) doit dégager environ (1) 1034^{cal} par kilogramme (eau gazeuse), et sa chaleur de combustion complète est, d'après M. Berthelot, de 2351^{cal}.

Il est donc parfaitement évident que les gaz provenant de l'explosion du coton de mine sont venus, après cette explosion, brûler à l'air presque complètement.

Pourquoi ce phénomène ne se produit-il pas avec le coton de guerre, dont les gaz sont combustibles aussi? Il est difficile de répondre. Tout ce que l'on peut dire, c'est qu'un équivalent d'une cellulose azotique de degré n donne nécessairement (si l'on suppose que la décomposition ne produit que CO^2, CO, H^2O, H, Az) un volume de gaz combustible $CO + H^2$, égal à

$$\left(48 - \frac{5n}{2}\right) \times 22,32 \text{ (2)}.$$

Le volume du gaz combustible croît donc lorsque n diminue; il est égal à $25,5 \times 22,32 = 568,7$ pour le coton ennéanitrique (coton de mine), et à $23 \times$ par $22,32 = 513,4$ pour le coton décanitrique (coton de guerre). Les gaz de la détonation du premier sont donc un peu plus combustibles que ceux de la détonation du second. Il est néanmoins singulier qu'une différence aussi faible produise un effet aussi marqué.

Quoi qu'il en soit, ce phénomène, bien constaté, fait comprendre pourquoi des cotons très peu nitrés comme celui qui titre 173^{cc} de bioxyde d'azote, et dont la température de détonation doit

(1) Voir note A.
(2) Voir note A.

être inférieure à 2000°, allument aisément le grisou en détonant à l'air libre, tandis que le coton de guerre titrant 205^{cc}, et dont la température de détonation est de 2640° environ, ne l'allume pas toujours.

Les mélanges de coton-poudre à 173^{cc} et d'azotate d'ammoniaque, contenant 90 et 80 parties de coton, dégagent aussi, en détonant à l'air libre, une quantité de chaleur beaucoup plus considérable que la quantité théorique. L'oxygène de l'azotate ne brûle pas assez les gaz provenant de la décomposition du coton pour que ceux-ci ne restent encore aptes à venir brûler à l'air.

Explication des phénomènes présentés par les mélanges de coton-poudre et d'azotate de baryte. — Poudre pyroxylée. — Le même phénomène peut nous permettre aussi de proposer une explication d'un fait qui nous a beaucoup étonnés. La poudre pyroxylée, qui contient 60 parties de coton titrant 180^{cc}, 30 parties d'azotate de baryte et 6 parties d'azotate de potasse, n'allume qu'exceptionnellement le grisou, tandis que le coton seul d'une part, des mélanges plus chargés en azotate de baryte de l'autre, l'allument infailliblement.

Le coton-pondre possédant le titrage de 180^{cc} correspond à peu près au coton octonitrique; sa température de détonation est donc environ de 2000°. Il n'allumerait pas le grisou si les gaz de la détonation ne venaient brûler à l'air; car on démontrera plus loin que la température apparente d'inflammation de grisou, sous l'influence des explosifs, est de 2200° environ.

Si l'on mélange à ce coton de l'azotate de baryte en quantité suffisante pour brûler les gaz provenant de l'explosion, la température de la détonation s'élève à 2550° si l'on admet la dissociation du carbonate après l'explosion. Cette température est suffisante pour allumer le grisou.

Mais, si l'on diminue la proportion d'azotate, la température est abaissée, les gaz de la détonation étant encore assez brûlés par l'oxygène de l'azotate pour ne plus être inflammables et pour se comporter comme ceux du coton de guerre.

On pourra donc trouver des mélanges, comme celui qui constitue la poudre pyroxylée, dont la température de la détonation

sera assez abaissée pour qu'ils n'allument pas le grisou, au moins d'une manière constante.

Force des explosifs. — Nous n'avons point parlé jusqu'ici de la force des explosifs, qui n'est pas l'élément important dans les applications que nous avons en vue. Ce que l'exploitant d'une mine à grisou réclame avant tout, c'est un explosif dont la température d'inflammation soit assez basse pour que la détonation ne puisse jamais allumer le gaz. Quant à la force de l'explosif, elle est en général plus que suffisante; l'exploitant sera satisfait si l'explosif nouveau et sûr qu'on lui donnera ne lui fait pas payer l'unité de force plus cher qu'avec les explosifs actuellement en usage.

Or il est facile de montrer que non seulement cette unité de force peut ne pas coûter plus cher, mais encore que le prix en peut être notablement abaissé.

Prenons comme exemple les mélanges de dynamite et d'azotate d'ammoniaque. On voit, en examinant les graphiques de la fig. 5, que, pour le mélange à 80 pour 100 d'azotate, la quantité f, qui mesure la pression obtenue, est de 6600^{kg}, la même quantité f étant égale à 9400^{kg} pour la dynamite seule. L'effet utile du mélange est donc les trois quarts environ de celui de la dynamite. Mais le prix de revient de l'azotate de l'ammoniaque est de $1^{fr},10$, celui de la dynamite est de 3^{fr} par kilogramme; le prix de revient du mélange sera donc de $1^{fr},48$, c'est-à-dire seulement la moitié de celui de la dynamite.

Il est vrai que l'impôt uniforme de 2^{fr} par kilogramme modifie un peu le résultat et porte le prix à 5^{fr} dans ce cas, à $3^{fr},48$ dans l'autre. Mais le rapport de ces deux chiffres est encore plus petit que trois quarts; et l'on pourrait sans doute augmenter encore la proportion d'azotate.

L'unité d'effet utile sera donc obtenue à moindre prix avec l'explosif binaire considéré qu'avec la dynamite. Il est vrai qu'on ne pourra pas produire des effets d'une intensité aussi grande; mais ces effets sont souvent inutiles et peuvent même devenir nuisibles dans l'exploitation des mines de houille, pour l'abatage de la houille par exemple.

Influence possible, sur l'inflammabilité du grisou, de la

quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air. — Nous devons signaler enfin, en terminant, une observation qui s'est présentée à nous depuis que la température atmosphérique est devenue plus élevée, et qui peut avoir une certaine importance.

Il nous est arrivé deux fois, le 19 mai et le 4 juin, d'expérimenter par un temps à la fois chaud et lourd; le 19 mai surtout, nos expériences ont été faites dans la matinée; le temps était accablant et faisait présager l'orage qui a éclaté dans la soirée. Or, des explosifs qui n'ont jamais, soit avant, soit après, enflammé le grisou, l'ont enflammé ce jour-là. Je citerai la poudre pyroxylée qui a produit l'inflammation deux fois de suite, sans que cet effet ait pu être reproduit depuis.

Le 4 juin, le caractère orageux du temps était moins prononcé que le 19 mai, mais il était cependant très accusé, et le mélange de 0,67 de dynamite et 0,33 d'alun ammoniacal, qui n'avait allumé ni le 24 avril ni le 1er juin, a allumé le grisou ce jour-là. La poudre pyroxylée est cependant restée indemne.

Nous ne croyons pas que l'accroissement de la température soit la cause unique de cet accroissement d'inflammabilité du grisou; car, le 1er juin, la température était supérieure à celle du 19 mai et du 4 juin; mais le temps était très sec, et l'effet en question n'a pu être observé. Nous serions tenté de croire que la vapeur d'eau, qui est en quantité considérable dans l'air par des temps chauds et orageux, doit jouer le rôle prépondérant. Il est possible que le retard à l'inflammabilité du grisou soit diminué par l'augmentation de la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air. On sait, en effet, et un chimiste anglais, M. Dixon, a particulièrement mis en lumière ce phénomène, que l'oxyde de carbone ne se combine pas avec l'oxygène sous l'influence de l'étincelle électrique, lorsque les gaz sont parfaitement secs.

Un fait analogue pour les mélanges grisouteux aurait une grande importance pour les mines où l'air est le plus souvent saturé d'humidité. Des expériences de laboratoire qui se poursuivent actuellement, mais qui ne sont pas encore terminées, pourront seules faire le jour sur cette question.

Résumé. — Pour résumer cette première partie de nos recherches, nous pouvons dire, sans entrer de nouveau dans le dé-

tail des expériences, qu'elles démontrent qu'on peut, en mêlant certaines substances à des explosifs dont la détonation allume le grisou, abaisser assez la température de cette détonation pour que les gaz qui en résultent n'allument pas, au moins dans les conditions ordinaires, les mélanges grisouteux au milieu desquels ils détonent librement.

Parmi les mélanges expérimentés par la commission, ceux qui paraissent les plus dignes d'examen sont :

1° La poudre pyroxylée du Moulin-Blanc qui cependant, dans des circonstances peut-être un peu exceptionnelles, a allumé deux fois le grisou, le nombre total des essais étant de 19;

2° Le mélange de 20 de coton-poudre peu nitré avec 80 d'azotate d'ammoniaque, dont la température théorique d'inflammation est de 1920 avec $f = 7550$, qui n'a pas donné d'inflammation dans sept essais;

3° Le mélange de 20 de dynamite et de 80 d'azotate, dont la température théorique d'inflammation est de 1500° avec $f = 6260$, qui n'a pas donné d'inflammation du gaz dans deux essais seulement, il est vrai;

4° La bellite, dont la composition n'est pas connue avec certitude, dont la détonation, difficile à l'air libre, n'est pas complète, même avec 3^{gr} de fulminate, et qui, dans ces dernières conditions, n'a été l'objet que de trois essais qui n'ont d'ailleurs pas allumé le grisou.

Avec la composition annoncée par l'inventeur, et probablement inexacte, la température de détonation serait théoriquement 2186° avec $f = 2993^{gr}$.

5° Enfin l'explosif Favier, dont la température théorique de détonation est de 2120°, qui ne paraît point détoner à l'air libre, même sous de fortes charges de fulminate; dont l'aptitude à la détonation dans les conditions pratiques d'emploi est mal connue; dont le détonateur intermédiaire, tel qu'il a été proposé par l'inventeur, devrait être supprimé, et qui, réduit, il est vrai, à l'état de poudre fine, a allumé une fois le mélange gazeux.

Les essais faits avec la bellite et avec l'explosif Favier ne peuvent être considérés comme terminés. On a cru devoir mentionner ici ces deux explosifs, parce que les expériences déjà faites ne leur paraissent pas défavorables et qu'ils semblent théoriquement ren-

trer dans la catégorie des substances incapables d'allumer les mélanges grisouteux.

La substance qui paraît la plus convenable pour atténuer la température de détonation des explosifs tels que la dynamite et le coton-poudre est l'azotate d'ammoniaque. Les autres substances que l'on peut mélanger à l'explosif, telles que le carbonate de soude hydraté, le sulfate de soude hydraté, l'alun d'ammoniaque, le chlorhydrate d'ammoniaque, ne sont décomposés que très partiellement par la détonation, et leur effet est par là même plus incertain.

Les essais faits sur les mélanges de dynamite ou de coton avec l'azotate d'ammoniaque doivent être continués, et il est permis d'espérer qu'on pourra former avec ces substances des mélanges de proportions variées, présentant, avec de grandes garanties de sécurité, tous les degrés de forces explosives qui peuvent être regardés comme utiles dans la pratique.

CHAPITRE III.

EXPLOSIFS DÉTONANT EN VASE CLOS.

Nous nous sommes beaucoup étendus sur les phénomènes que montrent les explosifs détonant à l'air libre, quoique ce mode de détonation, pour lequel ils ne sont pas faits, doive être interdit dans l'intérieur des mines. Mais c'est évidemment dans ces conditions que les explosifs présentent les dangers maximum et qu'il est le plus aisé de les classer au point de vue de la sécurité.

D'ailleurs, il peut toujours arriver accidentellement, par suite de l'imprudence, de l'inattention d'un ouvrier ou par toute autre cause, que l'explosif employé dans les travaux soit amené à la détonation avant d'être bourré au fond du trou de mine. Le danger

que présente la détonation à l'air libre n'est donc pas purement imaginaire.

Il n'est pas moins vrai que dans l'emploi normal les explosifs doivent détoner en vase clos, et nous allons étudier maintenant les dangers qu'ils peuvent présenter dans ces conditions.

Procédés d'expérimentation. — Lorsqu'un explosif détone au fond d'un trou de mine, il se produit, si le trou ne débourre pas, des fissures plus ou moins larges dans le massif ébranlé, à travers lesquelles s'échappent les gaz provenant de la détonation. La diversité des modes suivant lesquels peut se produire cet effet est infinie; mais, dans presque tous les cas, sinon dans tous, les gaz de l'explosion n'arriveront en contact avec l'air extérieur qu'après avoir produit sur la roche un certain travail mécanique.

Pour réaliser quelque chose d'analogue dans notre chaudière, mais dans des conditions certainement plus dangereuses que celles qui peuvent se rencontrer dans la pratique, nous avons suspendu, au milieu du grisou, l'explosif enfermé dans un tube métallique, en plomb ou en étain, fermé en bas, ouvert en haut. L'explosif, dans ce tube, reposait sur un tampon de 5^{cm} à 6^{cm} de glaise ou de sable; il était recouvert par une bourre d'argile, de sable ou même, dans certains cas, de poussière de houille, d'une épaisseur de $0^{m},10$ à $0^{m},12$, en général.

La détonation faisait éclater, projetait, à l'état de poussière métallique, la portion du tube avec laquelle elle se trouvait en contact. La partie inférieure du tube et la partie supérieure restaient, en général, à peu près intactes au fond de la chaudière.

On pouvait faire varier la nature du métal (plomb ou étain) et surtout son épaisseur. Les observations n'ont d'ailleurs été faites et n'avaient d'intérêt que pour des explosifs allumant le grisou à l'air libre.

Résultats expérimentaux. — Dans les conditions normales de détonation, l'explosif étant bien tassé contre les parois du tube et entre les deux bourres, on observa les faits résumés dans le tableau suivant :

	DIAMÈTRE intérieur et extérieur du tube en millimètre.	NATURE du tube.	ACTION sur le mélange grisouteux.
Dynamite n° 1	27-40	Plomb.	N. (1).
»	30-40	Id.	I.
»	30-35	Id.	I.
»	25-40	Étain.	N.
Coton-poudre de mine.....	32-42	Plomb.	N.
» »	30-35	Id.	N.
Dynamite-gomme.....	25-40	Étain.	I.
Dynamite-gélatine.....	27-40	Plomb.	N.
Dynamite à l'ammoniaque.....	25-40	Étain.	N.

(1) N, non-inflammation du grisou. — I, inflammation du grisou.

En résumé, tous les explosifs cessent, sans doute, d'allumer le gaz lorsque l'épaisseur des parois du tube est suffisamment grande, mais l'épaisseur susceptible de produire cet effet varie avec l'explosif.

Avec le coton-poudre de mine, un tube de plomb de 30^{mm} sur 35^{mm}, ayant ainsi seulement $2^{mm},5$ d'épaisseur, suffit à empêcher l'inflammation.

Avec la dynamite n° 1, il faut un tube de plomb de 27 sur 40 ou un d'étain de 25 sur 40.

La dynamite-gélatine se comporte à peu près comme la dynamite n° 1.

Avec la dynamite-gomme, le tube d'étain de 25 sur 40 ne suffit plus à empêcher l'inflammation du grisou, ce qui est d'accord avec la quantité considérable de chaleur développée par cet explosif, qui, parmi tous les dérivés de la dynamite, doit être considéré comme le plus dangereux.

Explication de l'effet produit, au point de vue de l'inflammation du grisou, par le tube qui enveloppe l'explosif. — Travail développé par la projection des parois du tube. — On peut se demander quelle est la cause de l'effet produit par le tube, qui n'empêche pas, en somme, les gaz de l'explosion d'arriver très rapidement, et à une très haute température, en contact avec le

mélange grisouteux. Il nous semble que cette cause doit être uniquement cherchée dans le refroidissement que subissent ces gaz, à la suite du travail mécanique qu'ils doivent dépenser pour imprimer une certaine force vive aux parois latérales du tube pulvérisées.

Ce travail mécanique est considérable, et nous avons pu l'apprécier d'une façon très simple en faisant détoner la cartouche, bourrée dans son tube, au milieu de la chaudière close, mais remplie d'air, et en enregistrant la pression produite par la détonation, comme il a été dit plus haut. La compression initiale $P' - P$ observée donne, en la multipliant par le coefficient 58,4 (voir p. 399), la quantité de chaleur Q' cédée à l'air de la chaudière après la détonation. Or cette quantité de chaleur est égale à celle Q qui est mise en liberté par la détonation, diminuée de la quantité de chaleur AU équivalant à la force vive U communiquée aux parois du tube.

Si préalablement, par la détonation du même explosif à l'air libre, on a mesuré Q, on pourra, en faisant la différence, connaître AU.

Dans ces conditions, une cartouche de 50^{gr} de dynamite n° 1 a donné (1) :

A l'air libre une pression..... $P' - P = 0,83$ correspond à $Q = 48,5$
Dans un tube d'étain de 25/40. $P' - P = 0,525$, $Q' = Q - AU = 30,6$

On a donc

$$AU = 17,9 \qquad \text{et} \qquad \frac{AU}{Q} = \frac{17,9}{48,5} = 0,37.$$

La quantité de chaleur transformée en travail par la désagrégation des parois du tube et par la projection des fragments varie d'ailleurs avec la nature et les dimensions du tube. Toutes choses égales, elle diminue avec l'épaisseur.

---

(1) Voir les courbes de pression déduites de l'observation (p. 400, fig. 9). On remarquera que la marche du refroidissement indiquée par la courbe qui correspond à la détonation dans le tube est plus lente que celle qui correspond à la détonation à l'air libre. La chaleur transformée en force vive, communiquée aux fragments du tube, est ramenée à l'état de chaleur par le choc des fragments contre les parois de la chaudière, et cette chaleur est restituée graduellement à l'air de la chaudière, ce qui ralentit la marche du refroidissement.

En opérant toujours avec la dynamite, nous avons trouvé qu'avec un tube de plomb de 32^{mm} sur 42^{mm}, la portion de chaleur absorbée par le travail mécanique est de 0,44 environ.

Avec un tube de plomb de 30^{mm} sur 35^{mm}, cette portion est de 0,33.

On a donc, dans cette expérience, transformé en travail un peu plus du tiers de la chaleur totale. C'est environ la moitié de la transformation que la détente des gaz chauds provenant de la détonation de la dynamite, complètement bourrée dans un espace clos, serait théoriquement capable de produire. (Voir note B.)

Température APPARENTE *d'inflammation des mélanges de grisou et d'air sous l'influence des gaz provenant de la détonation des explosifs.* — Les résultats expérimentaux obtenus avec la dynamite peuvent d'ailleurs nous permettre de calculer, au moins approximativement, la température que doivent posséder les gaz produits par la détonation de l'explosif pour allumer le mélange de grisou et d'air.

En effet, puisque la détente des gaz provenant de la détonation de la dynamite a perdu, en la communiquant sous forme de force vive aux parois du tube, les 0,37 de sa quantité de chaleur initiale, elle n'en conserve plus que les 0,63.

Par un calcul analogue à celui qui nous a servi pour obtenir la température de détonation, on trouve que les gaz, au moment où, le tube d'étain de 25/40 ayant été projeté, ils se trouvent en contact avec le mélange inflammable, ont une température de 2150°. Le mélange ne s'allumant pas par ce contact, on peut dire que la température *apparente* d'inflammation sous l'influence du gaz provenant de la détonation des explosifs est, *dans les conditions de l'expérience,* supérieure à ce chiffre.

Après la projection du tube de 30 sur 35, la température des gaz doit être de 2280°; or ils allument le grisou. La température *apparente* d'inflammation du mélange de grisou et d'air serait donc, autant qu'on peut en juger par ces calculs simplement approximatifs, comprise entre 2150° et 2280°, soit environ 2200°.

Si l'on fait le même calcul pour la dynamite-gomme détonant dans le tube d'étain de 25 sur 40, on trouve que la température du

gaz, après la projection des parois du tube, doit être de 2400° environ. Aussi ces gaz enflamment-ils le mélange grisouteux.

Nous rappellerons que la valeur élevée de la température *apparente* d'inflammation du grisou, que nous venons de déduire des observations, est due, au moins en majeure partie, au retard considérable à l'inflammation que présentent les mélanges grisouteux, et à la très rapide détente des gaz provenant de la détonation des explosifs, qui amène un refroidissement extrêmement brusque. Elle ne s'applique donc qu'aux conditions expérimentales particulières pour lesquelles elle a été déterminée.

Détonation au milieu de l'eau. — Nous avons cherché quel effet on pouvait attendre des cartouches dites *Settle,* formées, comme nous l'avons dit plus haut, d'un tube en papier imperméable, fermé en bas, qu'on peut remplir d'eau et au milieu duquel on place l'explosif. Ce tube est destiné à être placé dans le trou de mine qu'il remplit. Il a un diamètre plus grand que celui de la cartouche explosive qui est isolée des parois par des ailettes métalliques.

Nous avons déjà vu qu'en suspendant la cartouche Settle au milieu du mélange grisouteux et plaçant au milieu de l'eau une cartouche de poudre noire, la détonation de celle-ci provoque l'inflammation du gaz extérieur.

En remplaçant la poudre noire par une cartouche de 50^{gr} de dynamite, nous avons obtenu le même effet une fois sur deux expériences.

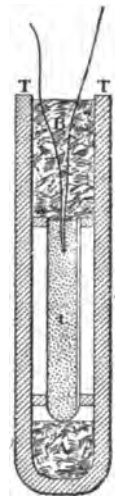
Variation du travail développé par les gaz de l'explosion avec la densité de chargement. — Nous avons cherché quel effet pouvait produire un vide laissé entre l'explosif et le tube ou, d'une manière plus générale, la variation de ce qu'on appelle la *densité de chargement,* c'est-à-dire le rapport entre le poids de l'explosif et le volume qu'il occupe dans le tube.

Dans ce but, nous avons tassé 26^{gr} de dynamite dans une éprouvette en verre mince, d'un diamètre extérieur moindre que $0^{m},25$, et nous avons placé cette éprouvette dans l'intérieur d'un tube en étain de 25 sur 40, fermé à l'une de ses extrémités, au-dessus d'un tampon d'argile de $0^{m},05$ de hauteur. Le reste de la capacité du

tube en étain était bourré sur $0^m,10$ à $0^m,12$ environ par de l'argile.

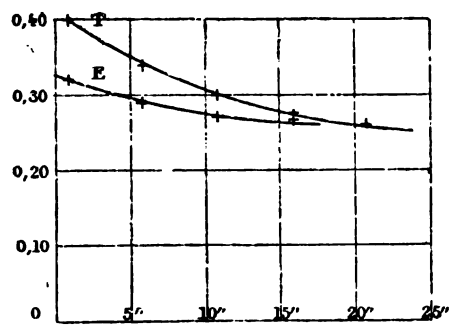
Ce mode de chargement est représenté dans la *fig.* 10, où *t* est

Fig. 10.



l'éprouvette en verre remplie de dynamite, TT le tube d'étain, A le tampon et B la bourre d'argile.

Fig. 11.



T, courbe des pressions pour une cartouche de 26^{gr} de dynamite détonant à l'air libre.

E, courbe des pressions pour une cartouche de 26^{gr} de dynamite remplissant une éprouvette en verre mince, bourrée dans le tube d'étain de 25^{mm} sur 40^{mm}.

On a obtenu, dans ces conditions, les deux courbes de variation de pression représentées par la *fig.* 11.

On en déduit, pour la pression initiale développée par les 26^{gr} de dynamite détonant à l'air libre (courbe T),

$$P' - P = 0,42,$$

d'où

$$Q' = 24^{c},5,$$

ce qui est d'accord avec l'expérience faite avec 50^{gr}.

Quant à la détonation dans l'éprouvette en verre bourrée dans le tube d'étain, elle a donné pour pression initiale

$$P' - P = 0,33,$$

d'où

$$Q'' = 19^{c},3.$$

Dans ces nouvelles conditions de chargement, la quantité de chaleur AU dépensée en travail mécanique est égale à $5^{cal},2$, et le rapport de cette quantité à la quantité de chaleur totale dégagée par l'explosion n'est plus que de $\frac{5,2}{24,5} = 0,21$.

Le rendement mécanique, qui, avec le bourrage ordinaire, était de $\frac{1}{3}$ environ, n'est donc plus que de $\frac{1}{5}$ environ (¹).

On peut se rendre compte de cette différence en remarquant que, la densité de chargement étant diminuée, les gaz de l'explosion se détendent dans l'éprouvette en étain avant de venir presser les parois, tout en conservant leur température, puisqu'il n'y a pas de travail produit. La pression exercée par les gaz sur les parois de l'éprouvette étant moindre, ces parois sont projetées avec une moindre énergie, acquièrent une force vive moins considérable, d'où résulte une production plus faible de travail mécanique. (Voir note B.)

Il suit naturellement de là que la température des gaz, après la destruction du tube, est moins diminuée et, par conséquent, plus élevée que dans les conditions normales de bourrage.

Dans les conditions précédentes, avec l'éprouvette en verre dans le tube en étain de 25 sur 40, on trouve que la température des gaz de l'explosion, après le travail mécanique effectué, est égale à 2520°. Les gaz de l'explosion qui n'allumaient pas le grisou

(¹) Cette expérience montre qu'on n'a pas d'avantage à placer l'explosif dans une cavité plus ou moins élargie, comme on l'a proposé souvent dans le but d'augmenter l'effet utile de cet explosif.

dans les conditions normales du bourrage peuvent donc l'allumer dans les conditions nouvelles. C'est ce qu'on a vérifié avec un tube de plomb de 27 sur 40. Une cartouche de 30^{gr} de dynamite qui, bourrée dans le tube métallique à la façon ordinaire, n'allume pas le grisou, l'allume toutes les fois qu'elle est placée dans une éprouvette en verre et bourrée dans ce tube de plomb, comme nous venons de le dire.

Par une raison tout à fait analogue, de la dynamite *versée* simplement dans un tube de plomb de 32 sur 42, puis bourrée, allume le grisou, tandis que, dans les mêmes conditions, la dynamite *tassée* ne l'allume pas.

Il faut tirer de là cette conclusion, très importante dans la pratique, qu'il faut toujours tasser et bourrer avec soin, bien que sans exagération, les explosifs dans le trou de mine; ils travaillent mieux et sont moins dangereux.

En faisant varier la forme du vase qui contient l'explosif, on ne modifie pas la densité de chargement, mais on fait varier le travail imposé à l'unité de volume du gaz que produit la détonation. En aplatissant le tube, par exemple, on augmente ce travail. On s'explique ainsi ce fait observé que de la dynamite enfermée dans un tube en plomb, à section circulaire de 30^{mm} sur 40^{mm}, enflamme le gaz, tandis que l'inflammation ne se produit plus lorsque le même tube est aplati.

Nous venons de voir que les gaz de la détonation, au sortir du tube d'étain de 25 sur 40 qui contient l'éprouvette en verre remplie de dynamite, doivent posséder une température de 2500° environ. Ils n'allument pas encore le gaz, mais l'effet doit être sur le point de se produire; car, avec un tube de plomb de 27 sur 40, l'inflammation a lieu. Nous trouverions ainsi que la température apparente d'inflammation est un peu supérieure à 2500°. Nous l'avions, par une autre voie, trouvée comprise entre 2150° et 2280°. Le désaccord entre ces deux déterminations ne paraîtra pas considérable, si l'on songe aux causes d'erreurs nombreuses qui peuvent les affecter. Celle que nous venons de faire en dernier lieu est en particulier fonction de variables très nombreuses, telles que les dimensions de l'éprouvette en verre, le vide laissé entre les parois de cette éprouvette et celles du tube métallique, et même peut-être aussi la forme de ce vide. Pour ces diverses rai-

sons, la première détermination, qui fixe vers 2200° environ la température *apparente* d'inflammation des mélanges grisouteux sous l'influence des gaz provenant de la détonation des explosifs, paraît mériter plus de confiance.

Mode de détonation des divers explosifs en vase clos. Recherches expérimentales. — Nous nous sommes servis des résultats donnés par la détonation des explosifs dans des tubes, pour acquérir quelques notions sur le mode de décomposition de ces explosifs en vase clos.

Si l'on fait, en effet, détoner dans la chaudière un explosif convenablement bourré dans un tube d'étain de 25 sur 40, et si l'on mesure la compression produite, cette compression correspondra aux 0,63 environ de la chaleur développée par l'explosion, laquelle pourra ainsi être mesurée, au moins approximativement.

Nous avons par ce procédé obtenu les résultats contenus dans le tableau suivant :

NATURE DE L'EXPLOSIF.	NATURE et dimensions du tube métallique.	P' − P observé.	Q déduit, en tenant compte de la fraction perdue par le travail mécanique. Pour 100 gr.	Q théorique pour 100 gr.
	mm mm			
Dynamite à 75 pour 100.....	Sn 25 sur 40	0,525	»	97,2
	Pb 32 sur 42	0,46	»	
	Pb 30 sur 35	0,565	»	
Dynamite-gomme (de Paulilles)	Sn 25 sur 40	0,62	115,0	153,5
Bellite.....	Pb 30 sur 35	0,47	99,0	100,2
	Sn 25 sur 40	0,51	95,0	
Poudre pyroxylée du Moulin-Blanc.....	id.	0,47	87,0	82 à 100
20 Dyn. - 80 Az. ammon.....	id.	0,285	51,8	50
67 Dyn. - 33 Alun d'amm.....	id.	0,38	71,0	53
60 Dyn. - 40 id.	id.	0,37	68,5	35
67 Dyn. - 33 id.	id.	0,42	78,0	49
Tous ces explosifs ont été employés en cartouches de 50gr et ont détoné sous l'influence d'une amorce de 1gr,50 de fulminate.				
Les explosifs suivants ont été employés en cartouches de 30gr, avec la même amorce de 1gr,5,				
60 Coton à 173 - 40 Az. amm..	Sn 25 sur 40	0,30	93	96
80 id. 20 id.	id.	0,28	87	82
90 id. 10 id.	id.	0,23	71	76

Ce tableau montre que la dynamite-gomme ne détone pas complètement, même bourrée dans un tube en étain de 25mm sur 40mm. La détonation complète de cette substance, c'est-à-dire la combustion complète des gaz du coton par l'oxygène de la dynamite, exige sans doute des vases plus résistants, capables de maintenir ces gaz plus longtemps en contact mutuel. Il est vraisemblable que la dynamite-gomme, dans des roches peu dures et peu résistantes, ne développe qu'une partie de son énergie.

La bellite et la poudre pyroxylée détonent complètement dans le tube en étain de 25 sur 40; la bellite détone complètement, même dans le tube de 30 sur 35 en plomb.

Pour les mélanges de dynamite et de chlorhydrate d'ammoniaque la détonation dans un tube d'étain de 25 sur 40 développerait des

quantités de chaleur un peu supérieures à celles qui résulteraient de la détonation de la dynamite seule. On peut donc en conclure que la décomposition du chlorhydrate, qui ne se fait pas dans la détonation à l'air libre, ne se fait pas non plus, même dans ces conditions plus favorables.

La détonation du mélange de dynamite et d'alun d'ammoniaque dans le tube en étain de 25 sur 40 développe une quantité de chaleur égale et même légèrement supérieure à celle qui résulterait de la détonation de la dynamite seule. Il semble donc bien certain que la dihydratation de l'alun ne s'est pas produite. Peut-être le résultat contraire que nous avons trouvé dans la détonation à l'air libre doit-il s'expliquer par une détonation incomplète de la cartouche.

Le mélange de 20 de dynamite et 80 d'azotate d'ammoniaque détone complètement dans le tube d'étain de 25 sur 40.

Il en est de même des mélanges de coton à 173 et d'azotate d'ammoniaque.

Effet produit par les explosifs bourrés dans un trou et allumés par la mèche. — Les explosifs détonent sous l'influence des amorces; ils peuvent simplement brûler, au moins en général, lorsqu'on les allume avec une flamme.

Lorsque ce second mode de décomposition est réalisé, il peut devenir la cause de dangers particuliers dans les mines à grisou. S'il est réalisé à l'air libre, la combustion du grisou en résulte, mais il est assez difficile de comprendre comment un semblable accident pourrait se produire dans la pratique.

Lorsque l'explosif est placé au fond du trou de mine, il peut être allumé sous l'influence de la mèche Bickford, si cette mèche vient en contact avec l'explosif avant de faire détoner l'amorce.

Nous avons réalisé ces conditions pour une cartouche de dynamite bien bourrée dans un tube en étain de 25 sur 40; on plonge dans cette cartouche et jusqu'au fond une mèche Bickford, portant à l'extrémité une amorce de $1^{gr},5$. Le grisou est allumé. Cet effet ne se produit pas si l'on supprime l'amorce. Celle-ci a sans doute pour effet de projeter en dehors du tube, déjà gonflé, la flamme qui le remplit entièrement.

La sécurité exige donc impérieusement, ce que demande aussi

le bon emploi de l'explosif, que la mèche Bickford ne soit jamais en contact avec l'explosif.

Résumé. — *Règle générale pour l'emploi des explosifs dans une mine à grisou.* — On peut résumer cette partie des études de la commission, en disant que les explosifs qui travaillent sont moins dangereux que ceux qui ne travaillent point, et qu'ils sont d'autant moins dangereux qu'ils travaillent mieux. Toutes les conditions qui tendent à diminuer le travail utile de l'explosif, telles que l'absence de bourrage ou un bourrage insuffisant, le vide laissé derrière la bourre ou entre la bourre et l'explosif, le contact entre la mèche Bickford et l'explosif, doivent être évitées avec le plus grand soin.

CHAPITRE IV.

MODE D'ALLUMAGE DES COUPS DE MINES.

Amorces renforcées et non renforcées. Différence de leurs effets sur l'inflammation du grisou. Explication. — La détonation des explosifs exige l'emploi d'une amorce qui est ordinairement formée d'un petit vase cylindrique en cuivre ou en laiton, contenant généralement du fulminate de mercure plus ou moins mélangé d'autres substances.

Nous avons constaté, ainsi que nous l'avons dit en commençant, que des amorces dites *renforcées,* contenant $1^{gr},5$ et même 2^{gr} de fulminate, n'allument pas le grisou. Les amorces renforcées à $1^{gr},5$ n'allument même pas les mélanges d'air et de gaz d'éclairage, mais elles allument les mélanges d'air et d'hydrogène.

Les amorces renforcées contenant 5^{gr} de fulminate allument le grisou.

Avec des amorces *non renforcées* une charge de $1^{gr},50$ suffit à produire l'inflammation des mélanges d'air et de grisou.

La principale différence entre les amorces non renforcées et les amorces renforcées est que, dans ces dernières, le fulminate placé au fond du cylindre métallique est comme coiffé par une petite bonnette métallique portant à sa partie supérieure un orifice qui découvre le fulminate et permet d'en provoquer l'inflammation. En outre, l'épaisseur du métal est plus grande, et le fulminate, plus comprimé, a une densité plus forte.

D'après les principes dont nous avons démontré plus haut l'exactitude, les amorces renforcées, ayant une masse métallique plus grande et une densité de chargement plus forte, les gaz provenant de la détonation du fulminate, dépensent, sous forme de travail mécanique, plus d'énergie avant de venir au contact avec le gaz extérieur; ils doivent donc, comme on l'observe, allumer plus difficilement, à charge égale, les mélanges gazeux.

Si d'ailleurs on enveloppe extérieurement une amorce *non renforcée,* contenant $1^{gr},50$ de fulminate, par les spires contiguës d'un fil de cuivre fin, on augmente le travail mécanique que les gaz de la détonation doivent produire, et nous avons constaté que, dans ces conditions, la détonation de l'amorce non renforcée n'allume plus le mélange grisouteux. Cette expérience est une nouvelle démonstration des principes que nous avons posés plus haut.

Amorces diverses. — Nous avons constaté que les amorces de Paulilles, soit celles qui détonent sous l'influence de l'électricité, soit celles qui détonent sous l'influence de la mèche Bickford, n'allument pas le grisou.

Il en est de même des amorces dites *d'Abegg,* détonant par l'électricité.

Quant à l'amorce Ruggieri et Scola (1), elle allume le mélange grisouteux.

Dangers que présente la mèche Bickford. — La détonation de l'amorce peut être provoquée par la mèche Bickford, et nous avons constaté que la combustion de cette mèche peut se produire au milieu d'un mélange grisouteux sans l'enflammer, pourvu, bien

(1) L'amorce Ruggieri et Scola est une sorte de petite canette formée de pulvérin que la mèche, grâce à une petite quantité d'explosif, projette, de l'orifice du trou de mine non bourré, sur la cartouche placée au fond.

entendu, que l'extrémité qu'on allume soit en dehors du mélange combustible.

Les dangers provenant de l'emploi de cette mèche sont cependant bien évidents.

Elle n'est sûre qu'à condition d'être de bonne qualité, et la sécurité repose sur la perfection d'une fabrication qu'il est impossible de contrôler.

Il est une autre cause très sérieuse de danger, c'est celle qui provient de la possibilité d'une fausse manœuvre de l'ouvier faisant pénétrer la mèche trop profondément dans la cartouche et la mettant ainsi directement en contact avec l'explosif. On a vu que, dans ces conditions, l'explosif brûlant avant de détoner, il peut se produire une projection, en dehors du trou, des gaz provenant de l'inflammation et un allumage du grisou. Cette cause de danger est d'autant plus grave qu'elle fait reposer la sécurité de la mine sur une manœuvre faite par un ouvrier et impossible à contrôler.

Sans parler de l'inconvénient qui résulte de l'allumage de l'extrémité de la mèche, qui ne peut être fait que dans un point de la galerie où l'absence du grisou soit bien constatée, il semble donc désirable que l'emploi de la mèche Bickford puisse être supprimé dans les mines à grisou.

Emploi de l'électricité. — On peut alors recourir à l'électricité, soit à l'électricité de tension, soit à l'électricité des courants. Sans entrer dans la discussion approfondie des divers procédés d'allumage électrique, on doit signaler les inconvénients de l'électricité de tension, qui peut donner sur son parcours des étincelles susceptibles d'allumer le grisou, et qui ne peut être portée qu'à une assez faible distance, lorsque les fils ne sont pas parfaitement isolés.

Il semble donc qu'au point de vue de la sécurité, tout au moins, les courants à faible tension sont préférables.

Cordeaux détonants. — Nous avions songé à proposer le remplacement du fil électrique par un cordeau détonant à la nitrocellulose, qu'on aurait fait détoner au moyen d'une amorce renforcée au fulminate, placée en dehors du trou, et allumée soit par l'élec-

tricité, soit par une étoupille de friction, soit même par une mèche Bickford, dont le danger serait bien moindre puisqu'alors elle ne pourrait jamais être en contact avec l'explosif. On éviterait en même temps l'inconvénient de bourrer sur une amorce qui détone par le choc, et celui d'avoir, après un raté, une cartouche munie de son amorce, au fond du trou.

Malheureusement nous nous sommes assurés que ces cordeaux, lorsqu'ils sont de petit diamètre, ne provoquent pas, avec certitude, la détonation des explosifs peu sensibles, tels que les mélanges de cellulose peu nitrée et d'azotate d'ammoniaque, la poudre pyroxylée, etc.

D'un autre côté, en augmentant le diamètre du cordeau, on risquerait peut-être de trop agrandir le canal que ce cordeau pratique dans le bourrage et qu'il dilate en détonant. Les gaz provenant de la détonation de l'explosif pourraient s'échapper par ce canal et venir provoquer l'inflammation du mélange grisouteux extérieur.

Nous avons donc renoncé à notre idée, au moins jusqu'à ce que des expériences plus complètes aient pu être faites sur ce sujet.

Amorces de friction. — M. Lauer, lieutenant-colonel du génie autrichien, a récemment proposé de faire détoner les explosifs bourrés au fond d'un trou de mine au moyen d'une amorce de friction. Cette amorce, enfoncée dans la cartouche, est mise en jeu au moyen d'un fil métallique renfermé dans un petit tube logé au milieu du bourrage.

Ce système est déjà employé exclusivement dans un certain nombre de mines autrichiennes, où l'on est, paraît-il, satisfait de son emploi.

Dès que nous aurons à notre disposition un certain nombre d'amorces de M. Lauer, nous les expérimenterons et nous rendrons compte de nos essais à la commission.

CHAPITRE V.

CONCLUSIONS.

Les conclusions que les recherches de la commission lui permettent de formuler sont les suivantes :

1° La poudre de mine, même déflagrant au milieu de l'eau, peut enflammer des mélanges de grisou et d'air.

2° La plupart des explosifs actuellement connus sont susceptibles d'enflammer, en détonant à l'air libre, les mélanges grisouteux; la dynamite, le coton-poudre de guerre ou de mine (particulièrement ce dernier), la dynamite-gomme, la dynamite-gélatine, la dynamite à l'ammoniaque de Paulilles, sont dans ce cas.

3° Il est cependant possible de trouver des explosifs qui détonent à une température assez basse pour ne pas provoquer, au moins dans la grande majorité des cas, en détonant à l'air libre, l'inflammation des mélanges grisouteux.

Parmi les explosifs, expérimentés par la Commission, qui réalisent plus ou moins parfaitement ces conditions, on peut citer :

(1) Des mélanges intimes de 50 parties de dynamite avec 50 parties de carbonate de soude cristallisé, de sulfate de soude à $10^{éq}$ d'eau, d'alun, d'ammoniaque, de chlorhydrate d'ammoniaque;

(2) La poudre pyroxylée du Moulin-Blanc;

(3) Le mélange de 20 parties de dynamite à 75 pour 100, et de 80 parties d'azotate d'ammoniaque;

(4) Le mélange de 20 parties de coton-poudre (titrant 173^{cc} de bioxyde d'azote) et de 80 parties d'azotate d'ammoniaque;

(5) La bellite, dont la composition n'est pas connue avec une entière certitude, et qui n'a encore été l'objet que d'un nombre insuffisant d'expériences;

(6) L'explosif de M. Favier, formé d'environ 90 parties d'azotate d'ammoniaque et de 10 parties de mononitronaphtaline, qui paraît devoir égaler la bellite au point de vue de la sécurité, mais

dont le détonateur intermédiaire, tel qu'il a été soumis à la Commission des substances explosives, devait être supprimé, et sur lequel de nouvelles expériences doivent être répétées.

4° En raison de la complexité et du peu de fixité des phénomènes qui peuvent se présenter dans la détonation des explosifs à l'air libre, il sera toujours prudent d'éviter le tirage des coups de mine, même chargés avec un des explosifs considérés comme les plus sûrs, dans un point où le mélange de grisou et d'air soit inflammable. Le choix de ces explosifs doit être considéré comme diminuant considérablement le danger de l'explosion; il ne doit pas être considéré comme le supprimant absolument.

5° Il faut toujours employer les explosifs dans les conditions qui leur permettent de développer le maximum de travail utile. L'économie et la sécurité sont d'accord pour recommander cette règle.

Il faut, en conséquence, bourrer avec soin l'explosif au fond du trou de mine, qui doit être assez profond; il faut éviter de laisser un espace vide, soit en avant, soit en arrière de la cartouche, soit latéralement; il faut éviter de mettre en contact l'explosif et la mèche Bickford, si la détonation de l'amorce est provoquée par cet intermédiaire, dont le danger est d'ailleurs assez sérieux pour qu'il soit désirable de le voir remplacer par un mode d'allumage plus sûr.

La commission n'avait pas à s'occuper de questions administratives. On voit cependant que les conclusions qui précèdent tendent à l'abandon dans les mines à grisou de la poudre de mine, et même à la mise en suspicion de la dynamite ordinaire, de la dynamite-gomme et de la dynamite à l'ammoniaque, telle qu'elle est actuellement fabriquée; la dynamite-gomme paraissant être la plus dangereuse de toutes ces substances.

Les explosifs qui paraissent les plus recommandables au point de vue de la sécurité sont des mélanges binaires d'un explosif, tel que la dynamite, le coton-poudre, la binitro-benzine avec l'azotate d'ammoniaque. Le mode de fabrication de ces mélanges, la manière dont on pourra les soustraire à l'influence de l'humidité atmosphérique, la durée plus ou moins grande de leur résistance à cette influence devront être expérimentés. Il faudra aussi soumettre à des essais pratiques l'effet utile de ces mélanges, la manière dont

ils se comporteront dans l'abatage des roches et particulièrement de la houille. L'étude de ces questions nécessitera des recherches dont la plupart ne pourront se faire que sur les mines mêmes et par les soins des ingénieurs qui les dirigent.

La commission émet le vœu que l'administration des poudres fasse fabriquer un certain nombre de cartouches de ces divers mélanges explosifs, pour être distribués aux ingénieurs qui voudront bien se charger de les essayer au point de vue pratique.

Ces essais terminés, il restera la question de la fabrication en grand. Pour quelques-uns des mélanges qui paraissent présenter d'assez grandes garanties de sécurité, ceux de coton-poudre et d'azotate d'ammoniaque, par exemple, l'administration des poudres a le monopole de leur fabrication.

La commission émet donc le vœu que l'administration des poudres se mette en mesure de fournir à l'industrie les mélanges à base de coton-poudre reconnus avantageux au point de vue de la sécurité des mines à grisou.

Paris, le 5 juillet 1888.

Le président de la sous-commission, rapporteur,

ER. MALLARD.

Adopté par la commission dans sa séance du 5 juillet 1888.

Le secrétaire,

P. VIEILLE.

Le président,

BERTHELOT.

TABLEAU RÉSUMÉ

DES EXPÉRIENCES FAITES A LA POUDRERIE DE SEVRAN-LIVRY DE NOVEMBRE 1887 A JUIN 1888.

NOTA. — I marque qu'il y a eu inflammation du mélange gazeux par la détonation de l'explosif.

N marque qu'il n'y a pas eu inflammation du mélange gazeux.

Dans l'indication des dates, 18 XI, 1 veut dire 18 novembre, avec expérience faite dans le *premier* mélange gazeux qui ait été préparé ce jour-là.

I. — Amorces.

DATES.	POIDS du fulminate.	TENEUR du gaz en formène.	RÉSULTAT de l'expérience.	OBSERVATIONS.
			1° *Amorces fulminantes* NON RENFORCÉES.	
	gr	pour 100		
18 XI, 1.....	1,50	8,7	I	
23 XI, 1.....	Id.	Id.	I	
30 XI, 2.....	Id.	8,5	I	
9 XII, 3.....	Id.	8,7	I	
24 IV, 1.....	Id.	10,3	I	
2 V, 2.....	Id.	Id.	I	
11 V, 1.....	Id.	Id.	I	
			2° *Amorces fulminantes* NON RENFORCÉES *frettées par l'enroulement extérieur d'un fil de cuivre.*.	
2 V, 2.....	1,50	1,03	N	
11 V, 1. ...	Id.	Id.	N	
			3° *Amorces fulminantes* RENFORCÉES.	
23 XI, 2.....	0,25	8,7	N	
Id.	0,50	Id.	N	
Id.	1,00	Id.	N	
Id.	1,25	Id.	N	
29 XI, 1.....	1,50	8,5	N	
Id.	Id.	9,6	N	
17 III, 1.....	Id.	10,3	N	
11 V, 1.....	Id.	Id.	N	
13 XI, 2.....	2,00	Id.	N	
15 XI, 2	1,50+2×1gr	0,7	N	Une amorce de 1gr,5 dans une de 2gr.
10.....	3 × 1,50	10,3	N	Trois amorces de 1gr,5.
16 V, 2.....	5,0	Id.	I	
30 V, 2.....	Id.	Id.	I	

DATES.	POIDS du fulminate.	TENEUR du gaz en formène.	RÉSULTAT de l'expérience.	OBSERVATIONS.
			4° Amorces de Paulilles.	
24 IV, 1.....	? gr	pour 100 10,3	N	
Id.	?	10,3	N	
			5° Amorces Abegg	
9 XII, 3....	?	8,7	N	
10 III, 3....	?	10,3	N	
			6° Amorce Ruggieri et Scola.	
23 V, 1.....	»	10,3	I	
			7° Mèche Bickford.	
20 IV, 2.....	»	10,3	N	Mèche de $0^m,60$ de longueur, brûlant dans le gaz, allumée à l'extérieur, portant à son extrémité une amorce de $1^{gr},50$.
24 IV, 1.....	»	Id.	N	Mèche allumée extérieurement, ayant à son extrémité une amorce de Paulilles.
2 V, 2.....	»	Id.	N	Mèche plongeant dans une cartouche de fulmicoton enfermée dans un tube.
3 V, 1.....	»	Id.	N	Id.
Id.	»	Id.	N	Id.
3 V, 1.....	»	Id.	N	Mèche plongeant dans dynam. enfermée dans un tube.

II. — Cartouches nues.

DATES.	POIDS de l'explosif.	NATURE de l'amorce.	TENEUR de gaz en formène.	RÉSULTAT de l'expérience.	OBSERVATIONS.
		A. — Explosifs déjà connus.			
		1° Dynamite n° 1 de Vonges (à 75 pour 100 de nitroglycérine).			
23 XII, 3.....	50 gr	1 am. de $1^{gr},50$	pour 100 7,00	I	Cartouche enveloppée de papier.
15 II, 1.....	Id.	Id.	Id.	I	Id.
5 XII, 2.....	Id.	Id.	8,5	I	Id.

DATES.	POIDS de l'explosif.	NATURE de l'amorce.	TENEUR de gaz en formène.	RÉSULTAT de l'expérience.	OBSERVATIONS.
Dynamite n° 1 de Vonges [à 75 pour 100 de nitroglycérine] (suite).					
	gr		pour 100		
9 XII, 2.....	50	1 am. de 1gr,50	8,7	I	Cartouche enveloppée de papier.
26 XII, 2.....	Id.	Id.	Id.	I	Id.
21 II, 1.....	Id.	Id.	10,3	I	Id.
15 III, 2....	Id.	Id.	Id.	I	Cartouche dans un tube en plomb de 27 sur 40, fermé à une extrémité, ouvert à l'autre.
10 III, 3.. ..	Id.	Id.	Id.	I	Cartouche enveloppée latéralement d'argile, nue aux extrémités.
17 III, 1.....	Id.	Id.	Id.	I	Cartouche dans un tube en plomb de 27 sur 40. — Extrémités fermées par de légères bourres d'argile de 0,01 à 0,002.
2° *Dynamite n° 0 de Paulilles.*					
9 II, 3.....	50	1 am. de 1gr,50	6,1	I	
3° *Dynamite-gomme de Paulilles.*					
5 XII, 1.....	50	1 am. de 1gr,50	8,5	N	Détonation très douteuse.
9 XII, 1.. ..	Id.	Id.	8,7	N	Id.
26 XII, 1.....	Id.	Id.	Id.	N	Id.
10 II, 1.....	Id.	Id.	Id.	N	Id.
18 II, 1.....	Id.	Id.	Id.	N	Id. Pression développée dans la chaudière égale à 0m,01 d'eau.
12 XII, 1.....	Id.	Id.	12,4	N	Détonation très douteuse.
12 XII, 2.....	Id.	Id.	11,1	N	Id.
15 III, 1.....	Id.	2 am. de 2gr,50	7,0	I	Cartouche dans un tube en plomb de 27 sur 40 ouvert aux deux bouts.
12 XII, 3.....	Id.	1 am. de 1gr,50	10,3	I	Cartouche nue.
4° *Dynamite-gélatine de Paulilles.*					
9 XII, 3.....	50	1 am. de 1gr,50	8,7	N	Détonation très douteuse.
28 XII, 1,....	Id.	Id.	9,6	N	Id.
12 XII, 4.....	Id.	Id.	10,3	N	Id.
12 XII, 2.....	Id.	Id.	11,1	N	Id.
12 XII, 1.....	Id.	Id.	12,4	N	Id.
13 II, 3.....	Id.	2 am. de 2gr	8,7	N	Id.
15 II, 1.....	Id.	3 am. de 1gr,50	7,0	N	Id.
15 II, 2.....	Id.	Id.	8,7	N	Id. Pression développée = 0m,01 d'eau.
13 II, 2.....	Id.	1 am. de 2gr	10,3	I	

DATES.	POIDS de l'explosif.	NATURE de l'amorce.	TENEUR de gaz en formène.	RÉSULTAT de l'expérience.	OBSERVATIONS.
		5° Dynamite à l'ammoniaque de Paulilles.			
	gr		pour 100		
9 II, 3.....	50	1 am. de 1gr,50	6,1	N	
9 II, 2.....	Id.	Id.	8,7	I	
9 II, 1.....	Id.	Id.	10,3	I	
		6° Fulmicoton de guerre, en cartouches prismatiques de 28gr, dans des étuis en laiton mince.			
28 XII, 1.....	28	1 am. de 1gr,50	7,0	N	
5 XII, 2.....	Id.	Id.	8,5	N	
5 XII, 1.....	Id.	Id.	8,5	I	
		7° Fulmicoton de mine. Cartouches enveloppées de papier.			
23 XII, 2.....	30	1 am. de 1gr,50	6,1	I	
23 XII, 1.....	Id.	Id.	7,0	I	
9 XII, 1.....	Id.	Id.	8,7	I	
2 XII, 2.....	Id.	Id.	Id.	I	
2 XII, 1.....	Id.	Id.	Id.	I	
30 XI, 1	28	Id.	9,6	I	
29 XI, 2	Id.	Id.	Id.	I	
12 XII, 2.....	30	Id.	11,1	I	
12 XII, 1.....	Id.	Id.	12,4	I	
11 V, 2.....	Id.	Id.	10,3	I	
		8° Fulmicoton titrant 173cc de bioxyde d'azote.			
4 VI, 4	30	2 am. de 1gr,50	10,3	I	
		9° Poudre pyroxylée du Moulin-Blanc. En cartouches rectangulaires de 50gr, fortement comprimées.			
9 V, 2.....	50	1 am. de 1gr,50	10,3	N	Dans un étui en laiton mince.
Id.	Id.	Id.	Id.	N	Cartouche nue.
Id.	Id.	Id.	Id.	N	Id.
11 V, 2.....	Id.	Id.	Id.	N	Id.
23 V, 1.....	Id.	Id.	Id.	N	Id.
Id.	Id.	Id.	Id.	N	Id.
23 V, 2.....	Id.	Id.	Id.	N	Id.
1 VI, 1	Id.	Id.	Id.	N	Id.
1 VI, 3	Id.	Id.	Id.	N	Id.

DATES.	POIDS de l'explosif.	NATURE de l'amorce.	TENEUR de gaz en formène.	RÉSULTAT de l'expérience.	OBSERVATIONS.
		9° *Poudre pyroxylee du Moulin-Blanc. En cartouches rectangulaires de* 50gr, *fortement comprimées* (suite).			
1 VI, 3.....	50 gr	1 am. de 1gr,50	pour 100 10,3	N	Cartouche nue.
1 VI, 5.....	Id.	Id.	Id.	N	Id.
4 VI, 2.....	Id.	Id.	Id.	N	Id.
19 V, 3.....	Id.	Id.	Id.	I	Id. Température du gaz de la chaudière égale 40°. Temps lourd.
10 V, 4.....	Id.	Id.	Id.	I	Id.
		10° *Fulmicoton à l'azotate de baryte.*			
9 V, 1.....	30	1 am. de 1gr,50	10,3	I	Cartouche nue.
		11° *Fulmicoton de* WETTEREN, *à l'azotate de baryte.*			
9 V, 2.....	?	1 am. de 1gr,50	10,3	I	
		12° *Explosif Favier.*			
10 III, 1.....	40	2 am. de 1gr,50	10,3	N	Cartouche fabriquée à Sevran avec le mélange indiqué par M. Favier. Détonation très douteuse.
10 III, 2.....	Id.	3 am. de 1gr,50	Id.	I	Id.
		13° *Helloffite.*			
15 III, 2.....	?	1 am. de 1gr,50	»	»	La cartouche ne détone pas.
		14° *Bellite.*			
10 II, 1.....	50	1 am. de 1gr,50	8,7	N	Détonation très douteuse.
15 II, 2.....	Id.	Id.	Id.	N	Id. Pression développée = 0m,035 d'eau.
30 V, 1.....	Id.	Id.	10,3	N	Détonation très douteuse.
1 VI, 3.....	Id.	Id.	Id.	N	Id. Explosif chauffé à 40°.
4 VI, 4.....	Id.	2 am. de 1gr,50	Id.	N	Pression développée = 0m,24 d'eau. Température du gaz de la chaudière = 35°.
Id.	Id.	Id.	Id.	N	Pression développée = 0m,30 d'eau. Température du gaz de la chaudière = 35°.

DATES.	POIDS de la matière ajoutée à la dynamite sur 100 de mélange.	POIDS de l'explosif.	NATURE de l'amorce.	TENEUR de gaz en formène.	RÉSULTAT de l'expérience.	OBSERVATIONS.
			B. — Mélanges divers.			
			***a.* — Mélanges à base de dynamite.**			
			1° Mélanges avec carbonate de soude cristallisé.			
27 III, 1....	Vol. égaux	25 gr	1 am. de 1gr,50	pour 100 10,3	N	Dans étui en laiton.
Id.	50 carb.	100	Id.	Id.	N	Id.
			2° Mélanges avec sulfate de soude à 10éq d'eau.			
17 III, 2....	50 p. sulfate	45	1 am. de 1gr,50	10,3	N	Dans étui en laiton.
17 IV, 1....	33 sulfate	Id.	Id.	Id.	I	
			3° Mélanges de dynamite et d'alun d'ammoniaque.			
21 IV, 1....	50 alun	100	1 am. de 1gr,50	10,3	N	Dans étui en fer-blanc mince.
11 V, 3.....	Id.	Id.	Id.	Id.	N	Dans étui en laiton.
24 IV, 1....	33 alun	Id.	Id.	Id.	N	Id.
1 VI, 4....	Id.	Id.	Id.	Id.	N	Id.
4 VI, 1....	Id.	Id.	Id.	Id.	I	
28 VI, 1....	25 alun	Id.	Id.	Id.	I	Id.
			4° Mélanges avec le chlorhydrate d'ammoniaque.			
20 IV, 1....	50 chlor.	100	1 am. de 1gr,50	10,3	N	Dans étui en laiton.
24 IV, 1....	Id.	Id.	Id.	Id.	N	Dans étui en fer-blanc.
11 V, 2.....	Id.	Id.	Id.	Id.	N	Dans étui en laiton.
1 VI, 4....	40 chlor.	Id.	Id.	Id.	N	Id.
1 VI, 5....	Id.	Id.	Id.	Id.	N	Id. Press. dével. = 0m,50 d'eau.
4 VI, 2....	Id.	Id.	Id.	Id.	I	Dans étui en laiton.
1 VI, 1....	33 chlor.	Id.	Id.	Id.	I	Id.
			5° Mélanges avec la poussière de combustibles minéraux.			
20 IV, 3....	50 pouss.	90	1 am. de 1gr,50	10,3	N	Dans étui en laiton. Poussière de houille de Blanzy.
11 V, 2.....	Id.	Id.	Id.	Id.	N	Id.
30 V, 2.....	Id.	Id.	Id.	Id.	N	Dans étui en laiton. Poussière de houille de Drocourt (Pas-de-Calais).

DATES.	POIDS de la matière ajoutée à la dynamite sur 100 de mélange.	POIDS de l'explosif.	NATURE de l'amorce.	TENEUR de gaz en formène.	RÉSULTAT de l'expérience.	OBSERVATIONS.
	5° *Mélanges avec la poussière de combustibles minéraux* (suite).					
		gr		pour 100		
30 V, 2.....	50 pouss.	90	1 am. de 1gr,50	10,3	N	Dans étui en laiton. Poussière de houille de Dourges (Pas-de-Calais).
20 IV, 3....	33 pouss.	Id.	Id.	Id.	N	Dans étui en laiton. Poussière de houille de Blanzy.
1 V, 3.....	25 pouss.	30	Id.	Id.	N	Id.
19 V, 1.....	50 pouss.	100	Id.	Id.	I	Dans étui en laiton. Pouss. de lignite brun (Braunkohle).
	6° *Mélanges avec l'azotate d'ammoniaque.*					
4 VI, 2....	80 azotate	100	1 am. de 1gr,50	10,3	N	Dans étui en laiton.
Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	N	Id.
	b. — **Mélanges à base de fulmicoton.**					
	1° *Mélanges avec le chlorhydrate d'ammoniaque, du coton-poudre de mine.*					
19 V, 2.....	25 chlor.	50	1 am. de 1gr,50	10,3	I	Sous-enveloppe. Tempér. des gaz de la chaudière = 40°. Temps orageux.
23 V, 1.....	20 chlor.	62,5	Id.	Id.	N	Id.
23 V, 2.....	12,5 chlor.	50	Id.	Id.	I	Id.
	2° *Mélanges avec l'azotate d'ammoniaque.*					
	α. — Coton-poudre de guerre titrant 205cc de bioxyde d'azote.					
1 VI, 2....	70 azotate	50	1 am. de 1gr,50	10,3	N	
Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	I	
1 VI, 5....	Id.	Id.	Id.	Id.	I	
4 VI, 3....	80 azotate	Id.	Id.	Id.	N	
Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	I	
	β. — Coton-poudre de mine titrant 193cc de bioxyde d'azote. (Cartouches probablement humides.)					
19 V, 4.....	50 azotate	50	1 am. de 1gr,50	10,3	N	Détonation douteuse. Température des gaz de la chaudière = 40°.
Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	I	Id.

DATES.	POIDS de la matière ajoutée à l'explosif sur 100 de mélange.	POIDS de l'explosif.	NATURE de l'amorce.	VOLUME de gaz en formène.	RÉSULTAT de l'expérience.	OBSERVATIONS.
β. — Coton-poudre de mine titrant 193^{cc} de bioxyde d'azote. (Cartouches probablement humides.) (Suite.)						
		gr		pour 100		
23 V, 1.....	50 azotate	50	1 am. de 1^{gr},50	10,3	N	Détonation douteuse.
Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	N	Id.
30 V, 2.....	Id.	Id.	2 am. de 1^{gr},50	Id.	N	Id.
Id.	Id.	Id.	2 am. de 1^{gr},50	Id.	N	Id.
γ. — Coton-poudre titrant 173^{cc} de bioxyde d'azote.						
1 VI, 3....	65 azotate	50	1 am. de 1^{gr},50	10,3	I	
4 VI, 2....	80 azotate	Id.	Id.	Id.	N	Pression développée dans la chaudière = 0^{m},10 d'eau.
Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	N	Pression développée dans la chaudière = 0^{m},20 d'eau.
Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	N	Id.
Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	N	Id.
27 VI, 1....	Id.	Id.	Id.	Id.	N	Id.
Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	N	Id.
Id.	Id	Id.	Id.	Id.	N	Id.

III. — Cartouches enveloppées.

Les cartouches sont en général enfermées dans des tubes fermés à une extrémité.

L'explosif repose sur un tampon en argile de $0^m,5$ à $0^m,6$. — Il est bourré par une bourre d'argile de $0^m,10$ à $0^m,12$.

La teneur du gaz en formène est 10,3 pour 100.

DATES.	NATURE de l'explosif.	POIDS de l'explosif.	NATURE de l'amorce.	RÉSULTAT de l'expérience.	NATURE du tube.	DIAMÈTRE int. et ext. du tube en millim.	OBSERVATIONS.
		gr					
22 II, 1...	Dyn. n° 1 de Vonges à 75 pour 100 de nitroglycérine.	50	1 am. de 1gr,50	N	»	»	Cartouche envel. d'argile.
13 III, 3..	Id.	Id.	Cord. déton.	I	»	»	Id.
17 III, 2..	Id.	Id.	1 am. de 1gr,50	I	»	»	Id.
2 V, 1...	Id.	Id.	Id.	N	Étain	25-40	
11 V, 2...	Id.	Id.	Id.	N	Id.	Id.	
12 II, 1. .	Id.	Id.	Id	N	Id.	Id.	
12 IV, 1..	Id.	Id.	Id.	N	Id.	Id.	
15 III, 3..	Id.	Id.	Cord. déton.	N	Plomb	27-40	
17 III, 2..	Id.	Id.	1 am. de 1gr,50	N	Id.	Id.	
27 III, 1..	Id.	Id.	Id.	N	Id.	Id.	
Id. ..	Id.	Id.	Id.	N	Id.	Id.	
28 III, 1..	Id.	Id.	Id.	N	Id.	32-42	
17 IV, 2..	Id.	Id.	Id.	I	Id.	30-40	
2 V, 1..	Id.	Id.	Id.	I	Id.	30-35	
6 IV, 1..	Id.	Id.	Id.	I	Verre ép.	»	
17 IV. 2..	Dyn. à 75 pour 100	40	Id.	N	Étain	25-40	
1 V, 2..	Dynamite-gomme de Paulilles.	50	Id.	I	Id.	Id.	
17 III, 3..	Id.	Id.	Id.	I	Plomb	27-40	
15 III, 2..	Dynamite-gélatine de Paulilles.	Id.	Id.	N	Id.	Id.	
15 III, 3..	Id.	Id.	Id.	N	Id.	Id.	
20 IV, 2..	Dynamite à l'amm. de Paulilles.	Id.	Id.	N	Étain	25-40	
20 IV, 3..	Id.	Id.	Id.	N	»	»	
20 IV, 1..	Dynamite n° 2 de Paulilles.	Id.	Id.	N	Étain	25-45	
12 IV, 2..	Dynamite n° 3 de Paulilles.	Id.	Id.	N	Id.	Id.	
2 V, 2...	Cot.-poud. de mine	60	Id.	N	Plomb	32-42	
2 V, 2...	Id.	50	Id.	N	Id.	30-35	
9 V, 2...	Id.	30	Id.	N	Id.	Id.	

DATES.	NATURE de l'explosif.	POIDS de l'explosif.	NATURE de l'amorce.	RÉSULTAT de l'expérience.	NATURE du tube.	DIAMÈTRE int. et ext. du tube en millim.	OBSERVATIONS.
		gr					
11 V, 2...	Cot.-poud. de mine	30	1 am. de 1gr,50	N	Plomb	30-35	
28 XII, 1..	Id.	Id.	Id.	N	Cartouche dans un trou percé dans un bloc de bois.		
16 V, 1 ...	Bellite.	50	Id.	N	Plomb	30-35	Press. = 0,40 env.
6 IV, 2..	Explosif Favier.	60	Id.	N	Id.	27-40	Dét. très douteuse.
Id. ..	Id.	Id.	Id.	N	Étain	25-40	Id.
1 V, 3...	Id.	Id.	Id.	N	Id.	Id.	Id.
14 IV, 1..	Id.	Id.	1 am. de 2gr	N	Plomb	30-40	Id.
Id. ..	Id.	Id.	1 am. de 5gr	N	Id.	Id.	Id. Pr. dév. = 0,12 d'eau environ.
9 V, 2...	Coton-poudre paraffiné à 10 p. 100	35	1 am. de 1gr,50	N	Étain	25-40	Press. = 0,30 env.
9 V, 1...	Coton-poudre à l'azotate de baryte du Moulin-Blanc	30	Id.	N	Plomb	30-35	

Expériences sur l'influence de la densité de chargement.

27 III, 1..	Dyn. n° 1 de Vonges	50	1 am. de 1gr,50	N	Plomb	27-40	
Id. ..	Id.	30	Id.	I	Id.	Id.	Dyn. dans éprouv. en verre.
12 III, 3.	Id.	Id.	Id.	I	Id.	Id.	Id.
14 III, 3..	Id.	Id.	Id.	I	Id.	Id.	Id.
11 V, 2...	Id.	Id.	Id.	N	Étain	25-40	Id.
11 V, 3...	Id.	Id.	Id.	N	Id.	Id.	Id.
1 V, 1...	Id.	50	Id.	I	Plomb	32-42	Dyn. *non tassée.*
24 IV, 1..	Id.	Id.	Id.	N	Id.	Id.	Dynamite *tassée.*
17 III, 2..	Id.	30	Id.	I	Id.	30-40	Tube *rond.*
Id. ..	Id.	Id.	Id.	N	Id.	Id.	Tube *aplati.*

Expériences sur L'ALLUMAGE DES EXPLOSIFS PAR LA MÈCHE.

15 III, 2..	Dyn. n° 1 de Vonges	50	Fil mét. porté au rouge par l'électricité.	N	Plomb	27-40	*Allumage par fil incandescent.*
Id. ..	Id.	Id.	Id.	N	Id.	Id.	Id.
2 V, 2...	Id.	Id.	Mèche Bickford plong. dans cartouche.	N	Étain	25-40	
20 III, 2..	Id.	Id.	Mèche Bickford enfoncée dans cart. Portant 1 am. de 1gr,50 à son extr.	I	Id.	Id.	

DATES.	NATURE de l'explosif.	POIDS de l'explosif.	NATURE de l'amorce.	RÉSULTAT de l'expérience.	NATURE du tube.	DIAMÈTRE int. et ext. du tube en millim.	OBSERVATIONS.
			Expériences sur L'ALLUMAGE DES EXPLOSIFS PAR LA MÈCHE (suite).				
3 V, 2...	Cot.-poud. de mine	gr 15	Mèche Bickford	I	Fulmi-coton placé sur la mèche, sans enveloppe.		
Id. ...	Id.	50	Id.	N	Étain	25-40	
Id. ...	Id.	Id.	Id.	N	Id.	Id.	
2 V, 2...	Id.	Id.	Id.	N	Id.	Id.	
Id. ...	Id.	60	Mèche Bickford plong. dans cartouche et portant à son extrém. 1 am. de 1gr,50.	N	Id.	Id.	
4 V.....	Id.	Du coton placé à l'air libre, au fond d'un tube de plomb, et allumé par la mèche Bickford, brûle sans émettre de flamme.					
Id.....	Id.	Dans la même expérience, le coton brûle avec flamme.					

IV. — Expériences sur les cartouches SETTLE.

Les cartouches explosives sont placées au milieu d'un tube en papier imperméable rempli d'eau (cartouches Settle).

DATES.	NATURE de l'explosif.	POIDS de l'explosif.	NATURE de l'amorce.	RÉSULTAT de l'expérience.	OBSERVATIONS.
15 III, 3..	Poudre de mine (mine ronde).	gr 24	1 am. de 1gr,50	I	
9 XII, 2..	Dyn. n° 1 de Vonges	50	Id.	N	
27 VI, 1..	Id.	Id.	Id.		

V. — Expériences sur les poussières de houille.

DATES.	NATURE de l'explosif.	POIDS de l'explosif.	NATURE de l'amorce.	RÉSULTAT de l'expérience.	OBSERVATIONS.
		gr			
14 IV, 3..	Dyn. n° 1 de Vonges	50	1 am. de 1gr,50	N	Cartouche dans tube Étain 25 sur 40. — Bourre de 0,13 de *poussière de houille de Blanzy*.
17 IV, 1..	Id.	Id.	Id.	N	Id.
1 VI, 5..	Poudre pyroxylée.	Id.	Id.	N	Cartouche placée dans cartouche *Settle*, remplie de *poussière de houille de Blanzy*.
24 IV....	Dyn. n° 1 de Vonges.	Une cartouche de 100gr de dynamite n° 1, enveloppée de poussière de houille, *détonant à l'air libre*, sous l'influence d'une amorce de 1gr,50, *n'allume pas* la poussière.			
Id.....	Id.	Une cartouche de 100gr de dynamite n° 1, enveloppée de poussière de houille, *et enflammée à l'air libre* par mèche Bickford, *allume* la poussière.			
Id.....	Id.	Une cartouche de 50gr placée dans une cartouche Settle remplie de poussière de houille, et détonant sous l'influence d'une amorce de 1gr,50, a donné exactement la même pression en centimètres d'eau que la cartouche de dynamite nue de même poids.			

EXPÉRIENCES DE DÉTONATION DANS LA CHAUDIÈRE CLOSE.

DATES de l'expérience.	NATURE de l'explosif.	MODE D'EMPLOI de l'explosif.	POIDS de l'explosif.	NATURE de l'amorce.	PRESSION initiale développée par la détonation, en centim. d'eau.
			gr		
28 IV....	Dyn. n° 1 de Vonges.	Cartouche nue.	50	1 am. de 1gr,5	83
Id.	Id.	Bourrée dans tube Sn 25 s. 40.	Id.	Id.	52,5
Id.	Id.	Id. Pb 32 s. 42.	Id.	Id.	46
8 VI....	Id.	Id. Pb 30 s. 35.	Id.	Id.	56,5
28 IV....	Id.	Versée dans tube de verre mince de 14mm diam. extér.	26	Id.	42
Id.	Id.	Tube de verre mince bourré dans tube Sn 25 sur 40.	Id.	Id.	33
25 V....	Dynamite-gomme de Paulilles.	Nue.	40	Id.	56
		Id.	50	Id.	69
		Id.	Id.	Id.	70
		Dans tube Sn 25 sur 40.	Id.	Id.	62
Id.	Coton de guerre.	Nue.	Id.	Id.	72
Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	72
Id.	Coton de mine.	Id.	Id.	Id.	»
Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	148?
4 VI....	Bellite.	Id.	Id.	2 am. de 1gr,5	25
8 VI....	Id.	Id.	Id.	Id.	34
Id.	Id.	Id.	Id.	1 am. de 1gr,5	28
Id.	Id.	Dans tube Sn 25 sur 40.	Id.	2 am. de 1gr,5	51
4 VI....	Id.	Dans tube Pb 30 sur 35.	Id.	1 am. de 1gr,5	47
9 V....	Poudre pyroxylée.	Nue.	65	Id.	61
25 V....	Id.	Id.	50	Id.	52
Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	44,5
8 VI	Id.	Id.	Id.	Id.	60
Id.	Id.	Dans tube Sn 25 sur 40.	Id.	Id.	47
28 V....	Coton à l'az. de baryte.	Nue.	Id.	Id.	70
8 VI....	Coton à l'az. de soude. Parties égales.	Id.	Id.	Id.	52
Id.	30 coton de guerre. 70 azotate ammon.	Id.	Id.	Id.	46
18 VI....	90 coton à 173cc. 10 azotate ammon.	Nue.	30	Id.	94
		Dans tube Sn 25 sur 40.	Id.	Id.	23
23 VI....	80 coton à 173cc. 20 azotate ammon.	Nue.	Id.	Id.	63
		Dans tube Sn 25 sur 40.	Id.	Id.	28
Id.	60 coton à 173cc. 40 azotate ammon.	Nue.	Id.	Id.	35
		Dans tube Sn 25 sur 40.	Id.	Id.	30

DATES de l'expérience.	NATURE de l'explosif.	MODE D'EMPLOI de l'explosif.	POIDS de l'explosif.	NATURE de l'amorce.	PRESSION initiale développée par la détonation, en centim. d'eau.
			gr		
23 VI....	35 coton à 173cc. 65 azotate ammon.	Nue.	50	1 am. de 1gr,5	43
9 VI....	25 coton à 173cc. 75 azotate ammon.	Id.	Id.	2 am. de 1gr.	41
9 VI....	67 dynamite.	Nue.	50	1 am. de 1gr,5	53
	33 chlorhydr. d'amm.	Dans tube Sn 25 sur 40.	Id.	Id.	42
Id.....	60 dynamite.	Nue.	Id.	Id.	44
	40 chlorhydr. d'amm.	Dans tube Sn 25 sur 40.	Id.	Id.	37
Id.....	50 dynamite.	Nue.	Id.	Id.	42
	50 chlorhydr. d'amm.	Dans tube Sn 25 sur 40.	Id.	Id.	37
9 VI....	67 dynamite.	Nue.	50	1 am. de 1gr,5	44,5
	33 alun d'ammon.	Dans tube Sn 25 sur 40.	Id.	Id.	38
18 V....	20 dynamite.	Nue.	50	1 am. de 1gr,5	24
	80 azotate ammon.	Dans tube Sn 25 sur 40.	Id.	Id.	28

NOTE A.

—

NOTE THÉORIQUE SUR LE CALCUL DES TEMPÉRATURES DE DÉTONATION ET LA FORCE DES EXPLOSIFS.

Par MM. MALLARD et LE CHATELIER.

Calcul théorique de la température de détonation. — Si C est la chaleur spécifique à volume constant, moyenne entre o° et $t°$, des produits gazeux de détonation d'un certain poids d'un explosif; si Q est la chaleur de décomposition correspondant à ce poids et au mode de décomposition réalisé dans la détonation, la température t est donnée par la formule

$$Ct = Q. \tag{1}$$

La chaleur spécifique C n'est pas constante avec la température, comme l'ont démontré les expériences de MM. Berthelot et Vieille (1) et les nôtres (2).

Si l'on admet que la valeur de C, à toute température, est représentée par une expression linéaire

$$C = a + bt, \tag{2}$$

l'équation précédente devient

$$at + bt^2 = Q.$$

Pour connaître t, il faut connaître a, b et Q, ce qui suppose connue la loi de la décomposition. Cette hypothèse étant réalisée, les nombreuses recherches de MM. Berthelot, Sarrau et Vieille font connaître Q. Quant à a et b, la décomposition des explosifs donnant, en général, naissance à des gaz condensés, tels que CO^2 et H^2O, et à des gaz non condensés, dits *parfaits,* tels que CO, ClH et les gaz simples, on peut les déduire des ex-

(1) *Compt. rend.*, **98**; 1884.

(2) *Compt. rend.*, **92**; 1882, et *Ann. des Mines,* 8e sér., **4**; 1883.

périences que nous avons données dans le mémoire déjà cité pour les chaleurs spécifiques moléculaires de ces gaz, à volume constant, et moyennes entre o° et $t°$. Ces expressions sont, en petites calories (gramme-degré),

$$\begin{aligned}
&\text{Pour } CO^2\,(^1)\ldots\ldots\quad c = 6{,}26 + 0{,}0037\,t,\\
&\text{Pour } H^2C\ldots\ldots\ldots\quad c = 5{,}61 + 0{,}0033\,t,\\
&\text{Pour les gaz parfaits.}\quad c = 4{,}80 + 0{,}0006\,t.
\end{aligned}$$

S' le poids équivalent de l'explosif se décompose suivant la formule

$$\alpha CO^2 + \gamma H^2O + \lambda P;$$

P représentant une molécule d'un gaz parfait, les coefficients a et b de l'équation (2) seront respectivement

$$\begin{aligned}
a &= 6{,}26\alpha + 5{,}61\beta + 4{,}8\lambda,\\
b &= 0{,}0037\alpha + 0{,}0033\beta + 0{,}0006\lambda;
\end{aligned}$$

et si Q est la chaleur de décomposition du poids ϖ, la température t sera donnée par l'expression

$$t = \frac{-a + \sqrt{a^2 + 4bQ}}{2b}. \tag{3}$$

Formule de Clausius. — Covolumes. — Clausius a lié la pression P, le volume V, la température absolue T d'un gaz qui occupe le volume v_0 sous la pression p_0, à la température absolue 273, par la relation

$$\left[\frac{P}{p_0} + \frac{c}{T\left(\frac{V}{v_0} + \beta\right)^2}\right]\left(\frac{V}{v_0} - u\right) = \frac{T}{273},$$

qui, avec les températures et les pressions très élevées que nous considérons, peut se réduire très sensiblement, pourvu que $\frac{V}{v_0}$ ne soit pas trop petit, à

$$\frac{P}{p_0}\left(\frac{V}{v_0} - u\right) = \frac{T}{273}. \tag{1}$$

Le covolume est donné, pour un très petit nombre de gaz, par les déductions mathématiques qu'a tirées M. Sarrau des expériences de M. Ama-

(1) Nous avons proposé pour la chaleur spécifique de l'acide carbonique différentes expressions donnant toutes la même valeur à 2000°. Nous accordons ici la préférence à l'expression linéaire qui conduit à des calculs plus simples.

gat (1). Il a obtenu les valeurs suivantes :

Hydrogène	0,000887
Azote	0,001359
Oxygène	0,000890
Acide carbonique	0,000886
Formène	0,001091
Éthylène	0,000967

Il est remarquable que, pour des gaz aussi différents par toutes leurs propriétés que l'hydrogène et l'acide carbonique, par exemple, les valeurs de u sont extrêmement voisines. On est ainsi naturellement porté à croire, comme le remarque M. Bouty (2), que les covolumes de tous les gaz sont identiques. Le coefficient u est, en effet, assez difficile à calculer en partant des nombres expérimentaux. Ce qui le prouve le mieux, c'est que M. Sarrau, en partant des expériences de M. Amagat, a trouvé pour l'acide carbonique $u = 0{,}000866$ et, plus tard, lorsqu'il a voulu tenir compte des expériences de Regnault sur la vapeur saturée, de MM. Cailletet et Hautefeuille sur la densité de l'acide carbonique liquide, il a admis $u = 0{,}00115$ (3), qui se rapproche, mais en sens contraire, de la moyenne 0,00101 des six valeurs de u tirées, pour différents gaz, des expériences de M. Amagat.

On ne s'écartera sans doute pas beaucoup de la vérité en admettant que, pour tous les gaz, u a la même valeur, et en prenant cette valeur égale à 0,001. C'est la supposition faite dans les calculs qui suivent.

Calcul de la force explosive. — On déduit de (1)

$$P(V - u v_0) = \frac{1{,}033\, v_0 T}{273}, \tag{2}$$

P étant exprimé en kilogrammes par m^2.

Si le gaz considéré possède le poids ϖ, sa densité Δ sera $\Delta = \frac{\varpi}{V}$, ce qui donne

$$V = \frac{\varpi}{\Delta}.$$

Dans les expériences sur les pressions développées par les explosifs, Δ est ce qu'on appelle la *densité de chargement*.

---

(1) *Compt. rend.*, **94**, 639, 718, 845; 1882.
(2) JAMIN et BOUTY, *Cours de physique*, Complément, 103.
(3) *Compt. rend.*, **101**, 1145; 1885.

Introduisant cette expression de V dans (2), il vient

$$P\left(\frac{\varpi}{\Delta} - u v_0\right) = \frac{1,033 v_0 T}{273}$$

ou

$$P = \frac{\frac{1,033 v_0 T}{273 \varpi}\Delta}{1 - \frac{u v_0}{\varpi}\Delta}$$

ou enfin

$$P = \frac{f\Delta}{1 - \alpha\Delta}, \tag{3}$$

en posant

$$f = \frac{1,033 v_0 T}{273 \varpi}, \tag{4}$$

$$\alpha = \frac{u v_0}{\varpi}. \tag{5}$$

Les deux coefficients f et α sont caractéristiques de chaque explosif; on peut, pour simplifier le langage, donner à f le nom de *force explosive* de l'explosif; α sera son *covolume*.

Mode de décomposition d'un explosif. — Le mode de décomposition d'un explosif, sous l'influence de la détonation, n'est, en général, connu avec certitude que lorsque cet explosif contient assez d'oxygène pour brûler complètement les éléments combustibles C, H qui entrent dans sa composition. On peut citer, comme rentrant dans ce cas, la nitroglycérine $C^6H^{10}Az^6O^{18}$, la nitromannite $C^6H^8Az^6O^{18}$, l'azotate d'ammoniaque $Az^2O^3H^4$ et certains mélanges formés avec deux substances dont l'excès d'oxygène de l'une suffit à brûler complètement le carbone et l'hydrogène de la seconde : je citerai le mélange de fulmicoton endécanitrique et d'azotate d'ammoniaque $C^{24}H^{29}Az^{11}O^{42} + 20,5\,Az^2O^3H^4$. Il suffit d'admettre alors que l'explosion produit la décomposition complète des deux substances et la réaction ultérieure qui conduit à la combustion complète de l'explosif binaire. Ces suppositions se vérifient, en général, au moins en vase clos.

Lorsque l'explosif ne contient point assez d'oxygène pour sa combustion complète, mais qu'il en contient plus que la quantité nécessaire pour la combustion de C à l'état de CO, on peut admettre qu'après la détonation il ne se forme que des composés oxygénés, que le carbone brûle complètement pour CO, et qu'il se fait une certaine répartition de l'oxygène restant entre CO et H.

Nous allons d'abord étudier les conséquences auxquelles conduirait cette hypothèse.

Si l'explosif est représenté par la formule

$$C^p H^{2q} O^r Az^{2s},$$

la loi de décomposition sera exprimée, d'une manière générale, par

$$\alpha CO^2 + \beta CO + \gamma H^2O + \delta H^2 + s Az^2.$$

On pose immédiatement les équations

$$\alpha + \beta = p,$$
$$\gamma + \delta = q,$$
$$2\alpha + \beta + \gamma = r,$$

qui conduisent aisément à

$$\alpha = r - p - q + \delta,$$
$$\beta = 2p + q - r - \delta,$$
$$\gamma = q - \delta;$$

d'où l'on conclut :

1° Que le volume des gaz formés à 0° est constant, quel que soit le mode de décomposition, et égal à

$$v = (p + q + s) \times 22^{lit},32;$$

2° Que la somme des volumes des gaz parfaits, CO, H^2, Az^2, est aussi constante et égale à

$$(2p + q - r + s) \times 22,32;$$

3° Que la quantité de chaleur à volume constant Q_g (eau gazeuse) dégagée par la décomposition, en appelant F la chaleur de formation de la substance à partir des éléments, est

$$Q_g = 68,2r - 41,9p - 9,5q + 10\delta + 0,54s - F,$$

soit, A étant une constante indépendante du mode de décomposition,

$$Q_g = A + 10\delta.$$

La chaleur de décomposition (eau liquide) est

$$Q_l = A - 0,8\delta,$$

presque indépendante de δ, c'est-à-dire du mode de décomposition.

Comme δ ne peut être négatif, on a une valeur maxima de δ qui est la plus petite des deux quantités q et $2p + q - r$, et une valeur minima qui est ou zéro ou $r - p - q$, si cette expression est négative.

On peut, en l'absence d'expériences précises, à peu près impossibles à faire, à cause des réactions mises en jeu pendant le refroidissement, prendre pour la variable δ une valeur moyenne entre ses valeurs maxima et minima. Le mode de décomposition serait ainsi fixé.

Tout ce qui précède repose sur l'hypothèse que les produits de la décomposition sont simplement des produits d'oxydation, et qu'il ne se forme pas, pendant la détonation, des hydrocarbures tels que le formène CH^4, l'acétylène C^2H^2, ..., ou tout autre composé.

MM. Sarrau et Vieille, dans leurs belles recherches sur la décomposition des explosifs (1), ont en effet trouvé que les gaz restant dans la bombe, après la détonation du fulmicoton endécanitrique, sont presque exclusivement formés de produits oxydés, pour des densités de chargement variant de 0,0098 à 0,3; le formène n'apparaissant, pour la densité de chargement 0,3, qu'en quantité extrêmement faible.

Ils admettent que, pour les densités de chargement usitées, la décomposition du coton endécanitrique doit se faire suivant la formule

$$12CO^2 + 12CO + 6H^2O + 8{,}5H^2 + 5{,}5Az^2.$$

En revanche, ils ont trouvé que, pour des celluloses moins azotées, il restait, dans les produits de la décomposition, après explosion, des quantités notables de formène, et même, pour le fulmicoton à $3^{éq}$ d'azote (sur $17^{éq}$ d'hydrogène), du carbone azoté et de l'ammoniaque.

Malheureusement ces résultats, si intéressants qu'ils soient, ne donnent pas, d'une manière certaine, ce qu'il nous importerait de connaître, c'est-à-dire la composition des gaz au moment même de l'explosion, composition dont on a seule à tenir compte dans le calcul de la chaleur de décomposition, de la température de détonation et des coefficients f et α.

Les analyses ne peuvent, en effet, être exécutées qu'après refroidissement, c'est-à-dire à un moment où des réactions ultérieures complexes peuvent avoir modifié plus ou moins profondément la nature des produits.

En l'absence de toutes données positives, nous admettons celles qui résultent des hypothèses exposées plus haut, et qui ne paraissent pas s'écarter beaucoup de la réalité, au moins pour les fulmicotons fortement nitrés, l'acide picrique, etc.

Mode de décomposition des celluloses nitrées. — Il ne sera point inutile d'étudier plus particulièrement l'application de ces hypothèses aux celluloses nitrées, à cause de l'importance de ces explosifs.

La composition d'une cellulose nitrée quelconque peut être représentée par

$$C^{24}H^{40-n}Az^nO^{20+2n}.$$

Le maximum de n serait 12; dans la pratique, n ne dépasse pas 11.

On caractérise ordinairement un fulmicoton, par le volume, en centimètres cubes, de bioxyde d'azote dégagé par gramme dans l'analyse par le

(1) *Mémorial des poudres et salpêtres*, 2, 126.

procédé Schlœsing. On a la correspondance suivante entre ce volume et le nombre n de la formule précédente.

	n.	Volume du bioxyde d'azote. c. c.
Coton endécanitrique.....	11	214
» déca »	10	203
» ennéa »	9	190
» octo »	8	178
» hepta »	7	162
» hexa »	6	146
» penta »	5	128
» tétra »	4	108

Nous nous sommes servis dans nos calculs des résultats expérimentaux donnés par MM. Sarrau et Vieille pour la combustion du coton endécanitrique. Ces savants ont trouvé qu'avec la densité de chargement 0,023 et la formule de décomposition

$$15CO + 9CO + 5,5H^2 + 9H^2O + 5,5Az^2,$$

la réaction dégage 1230^{cal} (eau liquide), ce qui donne pour la chaleur de formation du fulmicoton, à partir de ses éléments gazeux,

$$F = +624.$$

M. Berthelot a trouvé, d'autre part, que, pour fixer $11^{éq}$ d'acide azotique sur la cellulose, suivant la formule

$$C^{24}H^{40}O^{20} + 11AzO^2H - 11H^2O,$$

il se dégage une quantité de chaleur égale à 125,4. Cela donne, pour la chaleur de formation A du coton $C^{24}A^{40}O^{20}$,

$$A + 11 \times 46,1 - 11 \times 69 + 125,4 = 624,$$

d'où

$$A = 800.$$

On déduit de là, pour la chaleur de formation d'un fulmicoton contenant $n^{éq}$ d'azote,

$$F_n = 800 + 41,6n - 69n + 11,4n$$

ou

$$F_n = 800 - 16n.$$

Toutefois, nous ferons remarquer que ces nombres sont en contradiction avec le chiffre trouvé, il y a deux ans, par MM. Berthelot et Vieille, pour la chaleur de formation de la cellulose, par la méthode sûre de la combus-

tion dans l'oxygène. Ces savants ont trouvé pour $C^{6}H^{10}O^{5} = 162^{gr}$,

$$A = 227^{\circ},2,$$

d'où l'on déduit pour $C^{24}H^{40}O^{20}$

$$A = 908 \quad \text{au lieu de} \quad 800.$$

On en déduirait, pour la chaleur de formation du fulmicoton endécanitrique, 732 au lieu de 624.

Nous signalons cette discordance, que de nouvelles expériences peuvent seules faire disparaître, et dont on ne pourrait pas chercher la cause dans une erreur dans l'analyse des produits de la décomposition du fulmicoton endécanitrique sous la densité de chargement 0,023. On trouve, en effet, aisément pour la quantité de chaleur Q (eau liquide) correspondant à la simple oxydation du carbone et de l'oxygène, suivant une équation représentée par

$$\alpha CO^{2} + \beta CO + \gamma H^{2}O + \delta H^{2} + \varepsilon Az^{2}, \qquad Q = 1858,4 - 0,8\delta - F.$$

Si l'on admet $Q = 1,230$ et $F = 732$, il vient

$$1858,4 - 0,8\delta = 1962,$$

équation impossible, quel que soit δ. Il faudrait donc supposer une autre réaction, telle qu'une combinaison de carbone avec l'hydrogène, qui n'a pas été constatée par l'observation.

Quoi qu'il en soit, si l'on admet les nombres de MM. Sarrau et Vieille avec la chaleur de substitution de l'acide azotique donnée par M. Berthelot ; si l'on admet de plus la formation exclusive de produits oxydés et une formule de décomposition moyenne entre celles qui correspondent au minimum et au maximum de l'hydrogène libre, on peut, pour une cellulose nitrée de degré n, poser la formule de décomposition

$$\alpha CO^{2} + \beta CO + \gamma H^{2}O + \delta H^{2} + \frac{n}{2} Az^{2},$$

avec

$$\alpha = -24 + \frac{5n}{2} + \delta,$$

$$\beta = 48 - \frac{5n}{2} - \delta,$$

$$\gamma = 20 - \frac{n}{2} - \delta.$$

La chaleur de décomposition à volume constant Q (eau gazeuse) est

$$Q = 157,4n - 631 + 10\delta.$$

Le volume V des gaz fournis par la réaction est constant, quel que soit n et quel que soit δ, et égal à

$$V = 44 \times 22{,}32.$$

Tableau des températures de détonation et des forces explosives de divers explosifs. — Le tableau suivant a été calculé en partant des données et des hypothèses qui viennent d'être exposées.

On y désigne constamment par :

Q la chaleur dégagée, à volume constant, par la décomposition de l'équivalent, l'eau étant supposée gazeuse; exprimée en grandes calories (kilogr.-degré);

Q_k la même chaleur pour 1^{kg};

F la chaleur de formation de l'équivalent à partir des éléments;

ϖ le poids, en grammes, de la portion de l'équivalent qui se réduit en gaz par la détonation;

ϖ' le poids total de l'explosif;

v_0 le volume, en litres, des gaz formés par la détonation, ramenés à 0° et 760^{mm};

t la température de détonation;

Δ' la densité *apparente* de chargement, c'est-à-dire le rapport $\frac{\varpi'}{V'}$ entre le poids de l'équivalent et le volume qu'aurait l'éprouvette si la charge qu'elle contient était un équivalent;

Δ la densité *réelle* de chargement, c'est-à-dire le rapport entre le poids ϖ des gaz formés et le volume V occupé par ces gaz dans l'éprouvette. Si v est le volume des composés solides, entrant dans la composition de l'explosif ou formés par la détonation, on a

$$\Delta = \frac{\varpi}{\frac{\varpi'}{\Delta'} - v};$$

P la pression en kilogrammes par centimètre carré, produite par la décomposition de l'explosif en vase clos, sous la densité apparente de chargement Δ (1);

f la force de l'explosif donnée par l'expression $P = \frac{1{,}033\, v_0 (t + 273)}{273\, \varpi}$;

α le covolume représenté par l'expression $\frac{u v_0}{\varpi}$, dans laquelle u est supposé constant et égal à 0,001.

---

(1) Ces nombres expérimentaux sont empruntés aux expériences de MM. Sarrau et Vieille.

Q.	Q_1.	t.	f.	α.	Δ'.	P.	

A. — Explosifs simples.

I. — DYNAMITE A 75 POUR 100.

$C^6H^{10}Az^4O^{13} = 6CO^2 + 5H^2O + O + 3Az^2$, $\varpi = 454$, $\varpi' = 605$.

671,2	1.109	2.940°	8.490	0,71	0,3	2.279 (1)

II. — AZOTATE D'AMMONIAQUE.

$Az^2H^4O^3 = Az^2 + O + 2H^2O$, $\varpi = 80$.

							$\frac{P}{\Delta}$
30,4	380	1.130°	5.180	0,976	0,2 (2)	1.376	6.880
					0,3	2.319	7.730
					0,4	3.560	8.900

III. — ACIDE PICRIQUE.

$C^{12}H^6Az^6O^{14} = CO^2 + H^2O + 11CO + 2H^2 + 3Az^2$, $\varpi = 458$.

347,5 (3)	759	2.629°	9.600	0.877	0,1	927 (4)	
					0,2	1.744	
					0,3	3.549	moy. 3.501
						3.500	
						3.510	
						3.456	
					0,4	5.467	

IV. — FULMICOTONS.

1° *Coton endécanitrique.*

$C^{24}H^{29}Az^{11}O^{42} = 10,75CO^2 + 13,25CO + 7,25H^2O + 7,25H^2 + 5,5Az^2$, $\varpi = 1.143$.

1.172,3	1.026	2.650°	9.490	0,86	»	»

(1) Sarrau et Vieille, *Mémoire sur les manomètres à écrasement* (*Mémorial des poudres et salpêtres*, **1**, 415.) On a pris l'écrasement 6,50 observé avec un piston de 4^{kg}; on en a déduit P par la formule $P = 541 + 535\frac{\varepsilon}{2}$.

(2) Rapport sur les explosifs Favier fait à la Commission des substances explosives, par M. Vieille, le 7 juillet 1887.

(3) Déduit de la chaleur de formation $F = +98,2$.

(4) Ces nombres nous ont été communiqués par MM. Sarrau et Vieille; ils n'ont été qu'incomplètement publiés dans les *Comptes rendus* (*Compt. rend.*, **105**, 1223; 1887).

Q.	Q_1.	t.	f.	α.	Δ'.	P.	
							$\frac{P}{\Delta}$
1.184,8	1.037	2.660°	9.530	0,86	0,1 (1)	942	9.420
					0,2	2.039	10.190
					0,3	3.927	13.090
					0,4	5.430	13.570

Avec la formule de MM. Sarrau et Vieille, on aurait

$$12\,CO^2 + 12\,CO + 6\,H^2O + 8{,}5\,H^2 + 5{,}5\,Az^2.$$

2° *Coton octonitrique.*

$C^{24}H^{32}Az^8O^{36} = 6\,CO^2 + 18\,CO + 6\,H^2O + 10\,H^2 + 4\,Az^2$, $\varpi = 1{,}003$.

727,6	722	2.064°	8.630	0,974	»	»

V. — NITROMANNITE.

$C^6H^8Az^4O^{18} = 6\,CO^2 + 4\,H^2O + 3\,Az^2 + O^2$, $\varpi = 452^{gr}$.

655,4	1.454	3.250°	9210	0,691	0,1 0,2	1.481 (2) 2.585

B. — Explosifs binaires.

I. — BELLITE = 80 azotate d'ammoniaque + 20 parties de binitrobenzine.

On admet la formule 0,175 binitrobenzine + 0,825 azotate, qui donne l'oxygène suffisant pour une combustion complète.

$C^6H^4(AzO^2)^2 + 10\,Az^2H^4O^3 = 11\,Az^2 + 22\,H^2O + 6\,CO^2$, $\varpi = 968^{gr}$.

973,8	1.006	2.190°	8.000	0,869	»	»

II. — EXPLOSIF FAVIER.

Soit

$$21{,}5\,(Az^2 + O + 2\,H^2O) + C^{10}H^7AzO^2, \quad \varpi = 1.893.$$

1.831,7	968	2.130°	8.400	0,926	0,2	1.886 2.253 2.014	2.051
					0,3	3.687 3.560	3.623

(1) *Mémorial des poudres*, **2**, 8; 1885. — Berthelot et Vieille, *Sur les propriétés explosives du fulminate de mercure.*

(2) Ces deux nombres, dont le second donnerait un $\frac{P}{\Delta}$ plus petit à la densité 0,2 qu'à la densité 0,1, sont inconciliables. Le caractère très brisant de la nitromannite a sans doute faussé les observations.

Q.	Q_k.	t.	f.	α.	Δ'.	P.

III. — MÉLANGES DE DYNAMITE ET D'AZOTATE D'AMMONIAQUE (1).

$$C^4H^{10}Az^4O^{11} + m\,Az^2H^4O^3 + 151^{gr}\ \text{silice} = 6CO^2 + (5 + 2m)H^2O + \left(0{,}5 + \frac{m}{2}\right)O^2 + (3 + m)Az^2,$$

$$Q = 671{,}2 + m \times 30{,}4.$$

$$\varpi' = 605 + 80m, \qquad \varpi = 454 + 80m.$$

a. — $m = 29{,}2$, **0,20 dyn. + 0,80 azotate.**

$\varpi' = 2.341^{cal}$, $\varpi = 2.790^{cal}$.

1.558,9	530,1	1,500°	6.260	0,934	»	»

b. — $m = 7{,}81$, **0,505 dyn. + 0,495 azotate.**

$\varpi' = 1.229^{cal},8$, $\varpi = 1,078^{cal},8$.

908,6	739	2.000°	7.440	0,865	»	»

IV. — MÉLANGES DE FULMICOTONS ET D'AZOTATE D'AMMONIAQUE.

A. — Coton endécanitrique (2).

a. — *Mélange donnant la combustion complète du coton.*

$M = C^{24}H^{29}Az^{11}O^{42} + 20{,}5\,Az^2H^4O^3 = 24CO^2 + 55{,}5\,H^2O + 26Az^2$, $+\varpi = 2.783$.

0,41 coton + 0,59 azotate.

3.117	1.121	2.420°	8.630	0,847	0,2 0,3	2.092 (3) 3.488

b. — $\mathbf{M} + m\,\mathbf{Az^2H^4O^3}$, $\varpi = 2.783 + 80m$.

$Q = 3.117 + 30{,}4m$.

1° $m = 24{,}24$, 0,242 *coton* + 0,758 *azotate.*

$\varpi = 4{,}863^{cal}$.

3.854	816	2.000°	7.580	0,881	»	»

(1) Voir la *fig.* 5.

(2) Voir la *fig.* 9.

(3) *Recherches expérimentales sur la décomposition du coton-poudre,* par MM. Sarrau et Vieille. — Étude n° 3 (Archives de la Commission des substances explosives). — On a calculé P en partant des écrasements par la formule $k_0 + k\frac{s}{2}$, que MM. Sarrau et Vieille n'avaient pas encore établie lors de la rédaction de ce travail.

Q.	Q_1.	t.	f.	α.	Δ'.	P.
			2e m = 134,9, 0,084 *coton* + 0,916 *azotate.*			
			ϖ = 13.575kgm.			
7.218	532.0	1.500°	6.370	0,954	»	»
			B. — COTON OCTONITRIQUE ET AZOTATE D'AMMONIAQUE.			
			a. — *Mélange donnant la combustion complète du coton.*			
			$C^{24}H^{29}Az^{9}O^{36} + 28Az^{2}H^{4}O^{3}$,			
			0,310 *fulmicoton* + 0,690 *azotate*, ϖ = 3.248kgm.			
3.382	1.041	2.265°	8.460	0,879	»	»
			b. — $C^{24}H^{29}Az^{9}O^{36} + 5,4Az^{2}H^{4}O^{3}$.			
			0,70 *fulmicoton* + 0,30 *azotate*, ϖ = 1.440.			
1.273,3	884	2.170°	8.620	0,933	»	»
			c. — $C^{24}H^{29}Az^{9}O^{36} + 50,4Az^{2}H^{4}O^{3}$.			
			0,20 *fulmicoton* + 0,80 *azotate*, ϖ = 5.040.			
4.083	810	1.930°	7.610	0,915	»	»
			V. — COTON OCTONITRIQUE ET AZOTATE DE BARYTE.			
			Mélange donnant la combustion complète du coton.			
			$C^{24}H^{29}Az^{9}O^{36} + 5,60Az^{2}O^{6}Ba$ ϖ' = 2.469,6, ϖ = 1.612,8.			
			0,405 *fulmicoton* + 0,595 *azotate.*			
1.983,4	803	2.648°	7.590	0,686	»	»
			VI. — DYNAMITE-GOMME.			
			Mélange, à combustion complète, de nitroglycérine et de fulmicoton endécanitrique.			
			$C^{24}H^{21}Az^{9}O^{36} + 51C^{3}H^{5}Az^{3}O^{9}$, ϖ = 12.630kgm.			
19.511	1.545	3.220°	9.360	0,709	»	»

Ce sont les calculs précédents et quelques autres que nous ne rapportons pas ici, comme présentant moins d'intérêt, qui ont permis de tracer les courbes représentées par les *fig.* 5, 6 et 7. Ces courbes montrent la manière dont varient la température de détonation et la force explo-

sive f pour des mélanges, en proportions variées, de dynamite ou de fulmi-coton avec l'azotate d'ammoniaque.

Comparaison, avec l'expérience, des pressions calculées et des pressions expérimentalement déterminées. — Les nombres calculés pour les températures de détonation et les forces explosives f reposent sur des données calorimétriques qu'on peut considérer comme certaines ; sur les formules de décomposition des explosifs qui ne sont connues avec certitude que lorsque l'explosif est complètement brûlé ; enfin sur les valeurs des chaleurs spécifiques gazeuses déduites de nos expériences. Il est très intéressant de comparer les résultats du calcul avec les observations de MM. Sarrau et Vieille sur les pressions développées par les gaz qui proviennent de la décomposition des explosifs en vase clos.

On peut, en effet, déduire ces pressions de la formule

$$P = \frac{f\Delta}{1 - \alpha\Delta}, \tag{1}$$

lorsque f est connu. Mais il intervient alors un autre coefficient α, qui n'est point connu avec certitude. De plus, l'expression précédente, qui n'est autre que celle de Clausius, n'a jusqu'à présent été vérifiée que pour des pressions relativement faibles et des températures plus élevées.

La vérification tentée portera donc sur quatre éléments :

1° L'exactitude de la loi d'accroissement des chaleurs spécifiques que nous avons admise et celle de l'indépendance constatée par MM. Berthelot et Vieille, ainsi que par nous, jusque vers 16^{atm} à 17^{atm} seulement, des chaleurs spécifiques et de la pression ;

2° L'exactitude de l'expression (1) qui se déduit immédiatement de l'expression de Clausius ;

3° L'exactitude de la valeur 0,001 que nous avons assignée au covolume, et que nous avons supposée la même pour tous les gaz ;

4° L'exactitude du mode de décomposition de l'explosif, admis dans les calculs.

Pour cette vérification, nous avons mis l'expression (1) sous la forme

$$\frac{P}{\Delta} = \alpha P + f. \tag{2}$$

Étant données les pressions expérimentales P sous des densités de changement Δ variées, calculant $\frac{P}{\Delta}$, et considérant les P comme les abscisses et les $\frac{P}{\Delta}$ comme les ordonnées d'une ligne, cette ligne, si les théories sont exactes, doit être une droite dont le coefficient angulaire $\alpha = \frac{uv_0}{\varpi}$ dépend

uniquement du covolume, et dont l'ordonnée à l'origine f dépend de la température de détonation à laquelle elle est proportionnelle, et du volume gazeux qui dépend lui-même de la loi de décomposition.

Les points expérimentaux, ayant pour abscisses P et pour ordonnées $\frac{P}{\Delta}$, doivent se placer sur cette droite théorique.

Si les chaleurs spécifiques gazeuses et la loi de décomposition admises pour les calculs théoriques ne sont pas exactes, mais si la loi du covolume l'est, les points expérimentaux doivent se placer sur une droite; enfin si, de plus, la valeur admise pour le covolume est exacte, ce qui suppose l'exactitude de la loi de décomposition, cette droite doit avoir l'inclinaison définie par le coefficient angulaire théorique α.

Sur la *fig.* 8, p. 396, on a, pour divers explosifs, placé les points expérimentaux déduits des expériences de MM. Sarrau et Vieille, sur un canevas dans lequel l'échelle des abscisses est la même que celle des ordonnées. Pour comprendre toutes les données relatives aux divers explosifs sur la même feuille et éviter la confusion, l'origine des ordonnées est différente pour chaque explosif.

On a tracé ensuite, en traits pleins, les droites ayant le coefficient théorique α, qui passent le mieux possible par les points expérimentaux.

Ce qui ressort tout d'abord de l'examen de la figure, c'est que les points expérimentaux, si l'on élimine ceux qui, n'ayant aucune relation avec les autres, sont évidemment fautifs, s'écartent fort peu, de part et d'autre, des lignes ainsi tracées.

Pour l'azotate d'ammoniaque, par exemple, les deux observations se placent exactement sur une droite d'inclinaison α. Il en est de même pour le mélange de coton et d'azotate d'ammoniaque qui donne des produits complètement brûlés.

Pour le coton-poudre et l'acide picrique, l'accord est aussi très satisfaisant. Il l'est surtout d'une façon remarquable pour l'acide picrique, qu'on a observé jusqu'à la pression énorme de 7760^{kg}.

Conséquences relatives à la loi du covolume et à la valeur de ce coefficient. — Il résulte donc de ce premier point que la formule du covolume vérifiée depuis les plus basses pressions jusqu'à 10^{atm} ou 20^{atm} est encore vraie pour des pressions qui dépassent 7500^{atm}. L'identité du covolume pour tous les gaz, que nous avons admise, et la valeur de 0,001 attribuée à ce covolume, sont aussi vérifiées d'une manière aussi satisfaisante que possible, car la nature des gaz brûlés est très différente pour l'acide picrique d'une part qui ne contient que 1^{vol} de vapeur d'eau et 1^{vol} d'acide carbonique contre 16^{vol} de gaz parfaits, et de l'autre pour le coton à l'azotate qui contient 24^{vol} d'acide carbonique, $55^{vol},5$ de vapeur d'eau contre 26^{vol} de gaz parfaits.

Il résulte donc des expériences de MM. Sarrau et Vieille que les choses se passent, des pressions les plus basses jusqu'aux pressions de 7000^{atm} à 8000^{atm}, comme si les molécules gazeuses avaient un volume invariable, le même pour toutes, et à très peu près égal au millième du volume gazeux à zéro sous la pression 760.

Conséquences relatives à la variation, avec la température et la pression, des chaleurs spécifiques des gaz condensés. — Sur la *fig.* 8, à côté de la droite en traits pleins qu'on peut appeler la droite expérimentale, on a tracé en points longs une autre droite, ayant la même inclinaison α, et ayant pour ordonnée à l'origine la valeur de f trouvée par le calcul.

L'écart entre les deux droites, expérimentale et théorique, est représenté par les différences des ordonnées à l'origine de chacune d'elles.

Les deux droites sont très peu différentes l'une de l'autre pour l'azotate d'ammoniaque; la différence des deux ordonnées à l'origine, 5400 et 5180, est de 220, soit une erreur relative de 4 pour 100 environ. Cette différence peut être considérée comme insignifiante.

Pour la dynamite, on n'a qu'une seule expérience. La droite théorique est au-dessus de la droite expérimentale de $8410 - 8165 = 245$, soit une erreur relative de 3 pour 100, qu'on peut aussi considérer comme sans importance.

Pour le coton au nitrate, la superposition des deux droites est presque parfaite. La droite théorique est au-dessous de la droite expérimentale de $8680 - 8630 = 50$, soit une erreur relative de 0,57 pour 100, qui est de l'ordre des erreurs accidentelles.

Pour le coton endécanitrique, la différence est plus grande; la droite théorique est au-dessus de la droite expérimentale de $9490 - 8700 = 790$, soit une erreur relative de 8,4 pour 100.

Pour l'acide picrique, la différence est encore plus grande; la droite théorique est encore au-dessus de la droite expérimentale, et d'une quantité égale à $9600 - 8650 = 950$, soit une erreur relative de 10 pour 100.

Il résulte donc de cette comparaison que, pour les corps qui donnent par leur décomposition très peu de gaz parfaits, comme la dynamite (0^{vol},24 de gaz parfaits pour 1^{vol} total), ou le coton ammoniacal (0^{vol},248 de gaz parfait pour 1^{vol} total), l'accord entre la théorie et l'observation est très satisfaisant, l'écart ne dépassant pas 3 pour 100.

On peut en conclure que les expressions des chaleurs spécifiques de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau déduites de nos expériences antérieures doivent être sensiblement exactes; que ces expressions peuvent s'étendre jusque vers 3000°; enfin qu'elles sont encore indépendantes de la pression, même lorsque cette pression atteint 3000^{atm} à 4000^{atm}.

Conséquences relatives à la réalité de la variation, avec la température de la chaleur spécifique des gaz simples ou non condensés. — Les droites théoriques pour le coton et l'acide picrique dépendent de la loi admise pour la formule de décomposition et, principalement au moins, de la loi d'accroissement des chaleurs spécifiques des gaz parfaits, qui représente une importance toute spéciale, car la réalité de l'accroissement elle-même reste douteuse pour beaucoup de physiciens.

Pour le coton endécanitrique, la formule de décomposition admise paraît assez bien établie; elle résulte des analyses faites par MM. Sarrau et Vieille, sur les gaz provenant de la détonation. Il est vrai que ces gaz, pendant le refroidissement, ont pu réagir mutuellement, de telle sorte que la composition observée peut être assez différente de la composition au moment de la détonation. Toutefois, il peut paraître établi qu'il ne se forme pas de composés hydrocarburés en proportion notable. La formule de décomposition doit être alors, comme nous l'avons établi plus haut, représentée par l'expression

$$(-1{,}5+\delta)CO^2+(25{,}5-\delta)\,CO+(14{,}5-\delta)4^2O+\delta H^2+5{,}5Az^2.$$

Le nombre δ ne peut varier que de $\delta = 0$ à $\delta = 14{,}5$; la quantité de chaleur expérimentalement constatée ne peut pas varier. Dans ces conditions, la valeur de f ne peut varier que de 9170 à 9440.

Ces nombres laissent toujours subsister dans le même sens l'écart entre la droite théorique et la droite expérimentale.

La droite théorique a été calculée en admettant un certain accroissement, faible d'ailleurs, de la chaleur spécifique des gaz simples, résultant de la formule $4{,}8+0{,}0006t$. Si l'on n'admettait pas cet accroissement, la température de détonation serait de 2820° et $f = 10060$. Le f expérimental est de 8700; la différence serait de 1360, soit une erreur relative énorme de 15,5 pour 100.

L'accroissement de la chaleur spécifique des gaz parfaits résulte donc, avec certitude, des expériences de MM. Sarrau et Vieille.

Conséquences relatives au taux d'accroissement, avec la température, de la chaleur spécifique moléculaire des gaz simples ou non condensés. — Le taux d'accroissement 0,0006 par degré de cette chaleur spécifique a été déduit de nos expériences, sur ce point assez divergentes, parce que cette valeur se présentait comme la différence de quantités variables elles-mêmes. Nous avions trouvé pour ce coefficient une valeur maxima 0,0012 et une valeur minima 0,0003. La valeur admise 0,0006 était une certaine moyenne que nous ne présentions d'ailleurs qu'avec réserve.

Il est naturel de chercher quelle serait la valeur qu'il faudrait attribuer

à cet accroissement pour faire coïncider la droite théorique avec la droite expérimentale. Le calcul est simple, et de la valeur expérimentale de $f = 8700$ on tire $t = 2437$ et, pour les gaz simples, l'expression

$$4{,}8 + 0{,}0014\,t.$$

Ce taux d'accroissement paraît un peu fort. Il est plus grand que celui qui se déduit de l'expérience de MM. Berthelot et Vieille avec le cyanogène brûlant pour CO, et qui est 0,0011.

La formule de décomposition de l'acide picrique est assez mal connue. MM. Sarrau et Vieille, d'après l'analyse des gaz provenant de la détonation, donnent les formules suivantes :

$$\begin{aligned}
\Delta = 0{,}1 \quad & 1{,}37\,CO^2 + 10{,}50\,CO + 0{,}122\,CH^4 + 2\,H^2 + 0{,}75\,H^2O + 3\,Az^2 \\
0{,}2 \quad & 2{,}50\,CO^2 + 8{,}60\,CO + 0{,}870\,CH^4 + 0{,}87\,H^2 + 0{,}37\,H^2O + 3\,Az^2 \\
0{,}3 \quad & 3{,}12\,CO^2 + 7{,}62\,CO + 1{,}190\,CH^4 + 0{,}50\,H^2 + 0{,}25\,H^2O + 3\,Az^2
\end{aligned}$$

Le fait saillant qui résulte de ces analyses, c'est la présence du formène en quantité notable et croissante avec la densité de chargement. Ce gaz influe beaucoup, comme le remarquent MM. Sarrau et Vieille, sur la quantité de chaleur de la décomposition. Avec les nombres donnés, cette quantité de chaleur serait de :

$3{,}12 \times 94{,}0$	293,3
$7{,}62 \times 25{,}8$	196,6
$1{,}19 \times 18{,}5$	22,0
$0{,}25 \times 58$	14,5
	526,4
Chaleur de formation de l'acide..	98,2
	428,2

Avec ce nombre on peut calculer la température de détonation. Il est vrai qu'on ne connaît pas le taux d'accroissement de la chaleur spécifique du formène avec la température, mais cette donnée n'ayant que peu d'influence, on peut prendre le même taux que pour l'acide carbonique. On trouve ainsi que l'analyse de MM. Sarrau et Vieille, relative à la densité de chargement 0,5, conduirait à une température de détonation $t = 3300°$, à un $f = 10410$, à un $\alpha = 0{,}77$.

Or une droite, ayant l'inclinaison représentée par cette nouvelle valeur de α, ne peut plus passer à la fois par tous les points expérimentaux, comme on peut s'en assurer sur la *fig.* 8. De plus, la droite, menée par le point observé qui correspond à la densité 0,3, et ayant l'inclinaison $\alpha = 0{,}77$, donne un $f = 9420$ qui s'éloigne beaucoup de 10410. Les ana-

lyses de MM. Sarrau et Vieille ne concordent donc pas avec leurs observations de pression, si on les considère comme représentant la composition des gaz au moment de la détonation; et il est très vraisemblable que les gaz analysés avaient déjà subi des transformations multiples pendant le refroidissement.

Quoi qu'il en soit, si l'on admet la loi de décomposition que nous avons admise en supposant que la décomposition ne donne lieu à aucun carbure, on peut, comme nous l'avons fait pour l'acide carbonique, chercher quel taux d'accroissement de la chaleur des gaz parfaits amènerait la coïncidence entre les droites expérimentale et théorique.

On trouverait ainsi, pour la température de détonation $t = 2227°$ et pour la chaleur spécifique des gaz parfaits

$$c = 4,8 + 0,0013t.$$

Le taux d'accroissement ne différerait pas beaucoup de celui qu'on déduit des expériences faites avec le fulmicoton.

Ce qui résulte en tous cas de cette dissolution, c'est la réalité incontestable de l'accroissement de la chaleur spécifique des gaz parfaits avec la température. Quant au taux de cet accroissement, supposé linéaire, il paraît être plus fort que celui 0,0006 que nous avions admis et même plus fort que celui (0,0011) qui résultait des expériences de MM. Berthelot et Vieille.

Malheureusement l'incertitude du mode de décomposition du fulmicoton et de l'acide picrique ne permet pas de tirer des conclusions absolument certaines sur la valeur exacte de ce coefficient.

NOTE B.

SUR LA QUANTITÉ DE CHALEUR QUI PEUT ÊTRE TRANSFORMÉE EN TRAVAIL PAR LA DÉTENTE ADIABATIQUE D'UN GAZ.

Par MM. MALLARD et LE CHATELIER.

La solution de la question que nous nous proposons de traiter ici est bien connue dans le cas où l'on suppose constante la chaleur spécifique des gaz. On sait que, dans ce cas, si l'on appelle

T_0 la température *absolue* initiale du gaz;
T la température *absolue* finale du gaz;
P_0 la pression initiale;
P la pression finale;
V_0 le volume initial;
V le volume final;
Q la quantité de chaleur équivalant au travail effectué par la détente adiabatique de P à p;
c la chaleur spécifique du gaz à volume constant;
c' la chaleur spécifique du gaz à pression constante,

on a

$$\frac{V}{V_0} = \left(\frac{P_0}{P}\right)^{\frac{c}{c'}}, \qquad \frac{T_0}{T} = \left(\frac{P_0}{P}\right)^{\frac{c'-c}{c'}},$$

$$Q = c(T_0 - T).$$

On peut très aisément former des équations analogues, naturellement un peu plus complexes, lorsque la chaleur spécifique à volume constant est fonction de la température.

Supposons que la température reste assez grande et $\frac{V_0}{V}$ relativement assez considérable pour que l'équation de Clausius puisse être réduite à

l'expression

$$(1) \qquad P(V - ur_0) = RT = \frac{10330 \times v_0}{273} T,$$

u étant le covolume et v_0 le volume du gaz considéré à 0° et 760^{mm}, P étant exprimé en kilogrammes, V et v_0 en mètres cubes.

On en tire par différentiation

$$(2) \qquad dV = R \frac{dT}{P_t} - RT \frac{dP}{P^2}.$$

Les gaz suivant une loi de détente adiabatique, on a, A étant l'équivalent calorifique du kilogrammètre,

$$(3) \qquad AP\,dV = - C\,dT,$$

C étant la chaleur spécifique *vraie* de la masse de gaz considérée.

Des équations (1) et (2) il vient aisément

$$(4) \qquad \left(1 + \frac{C}{AR}\right) \frac{dT}{T} - \frac{dP}{P} = 0.$$

Si la chaleur spécifique *moyenne*, à volume constant, de la masse du gaz, entre 0° et $t°$, est exprimée par

$$c = a + bt,$$

on aura pour la chaleur spécifique vraie, à $t°$,

$$C = a + 2bt = a + 2b(T - 273)$$

ou

$$C = a' + 2bT,$$

en prenant

$$a' = a - 2b \times 273.$$

Transportons cette valeur de T dans l'équation et intégrant, il vient définitivement

$$(5) \qquad \left(1 + \frac{a'}{AR}\right) \text{l. nép. T} + \frac{2b}{AR} T - \text{l. nép. P} = \text{const.}$$

Si l'on supposait la chaleur spécifique constante et égale à c, on aurait $b = 0$, $a' = c$, et l'équation se réduirait à

$$\frac{T_0}{T} = \left(\frac{P_0}{P}\right)^{\frac{AR}{AR+c}}.$$

D'ailleurs, si l'on se reporte à la valeur de R, on verra que AR est la quantité de chaleur équivalant au travail de dilatation du gaz, sous la

pression atmosphérique pour une variation de température de 1°; on a donc $AR = c' - c$, ce qui ramène l'expression à la forme connue

$$\frac{T_0}{T} = \left(\frac{P_0}{P}\right)^{\frac{c'-c}{c'}}.$$

En portant dans (4) la valeur de P tirée de (1), on aurait aisément une équation entre V et T; il est inutile de l'écrire.

Quant à la quantité de chaleur Q dépensée par le gaz pour produire la détente de P_0 à P, elle correspond à la perte d'énergie interne du gaz de T_0 à T, et a pour expression

$$Q = at_0 + bt_0^2 - (at + bt^2), \tag{6}$$

en appelant t_0 et t les températures, comptées à partir de 0°, qui correspondent respectivement aux températures absolues T_0 et T.

La formule (5), quand on y introduit les logarithmes vulgaires et qu'on détermine la constante en écrivant que l'expression est vérifiée pour la pression et la température initiales P_0 et T_0, prend la forme

$$\log\frac{P}{P_0} = \left(1 + \frac{a'}{AR}\right)\log T + M\frac{2b}{AR}T - k, \tag{7}$$

en posant

$$k = \left(1 + \frac{a'}{AR}\right)\log T_0 + M\frac{2b}{AR}T_0,$$

M étant le log vulgaire de e.

Lorsque l'on a déduit de l'équation (7) la valeur de $T = t + 273$, pour une détente $\frac{P}{P_0}$ donnée, on calcule la quantité de chaleur Q_0 utilisée par la détente, au moyen de l'expression

$$Q_u = Q - (at + bt^2).$$

C'est ainsi qu'on a formé le Tableau suivant. On y a admis une détente de $\frac{1}{10000}$, qui ferait tomber, à la pression atmosphérique, les gaz supposés originairement donnés à une pression de 10000^{kg}. On y indique, pour quatre explosifs, le poids ϖ de l'unité de volume supposée égale à $22^{lit},32$; les coefficients a et b de l'expression de la chaleur spécifique de l'unité de volume; la température initiale t_0 de détonation; la température finale t, après la détente de $\frac{1}{10000}$; la chaleur Q_d dépensée pendant la détente par unité de poids; la chaleur Q_k représentant l'énergie calorifique développée par la détonation de 1^{kg}. On a placé en regard les coefficients f calculés dans une Note précédente.

	ϖ	a	b	t_0	t	Q_d	Q_k	f
	gr				°			
Acide picrique.....	25,45	4.93	0,00092	2.560	6 9	724	737	9.420
Coton endécan..	25.97	5,30	0,00181	2.636	304	945	1.168	9.460
Nitroglycérine.....	31,31	5,68	0,00281	3.170	978	1.128	1.478	9.320
40 coton endécan..... + 60 azot. ammon.....	26,37	5,50	0,00273	2.450	502	993	1.121	8.720

L'inspection de ce tableau montre que a varie peu d'un explosif à un autre; que b varie, au contraire, beaucoup; qu'à mesure que b augmente, la température t finale augmente aussi, et le rapport $\frac{Q_d}{Q_k}$ de l'énergie Q_d utilisée par la détente à l'énergie totale Q_k diminue.

Pour les explosifs dont les gaz sont peu brûlés, et qui contiennent, par conséquent, beaucoup de gaz parfaits, la détente utilise presque entièrement l'énergie disponible.

Ce tableau montre, en outre, combien différent est l'ordre dans lequel les explosifs peuvent être classés, suivant l'usage auquel on veut les employer.

S'il s'agit de produire simplement dans une roche des fissures qui permettront un déblaiement ultérieur, c'est la pression développée par l'explosif dans le trou de mine qui a l'importance prépondérante, et c'est la valeur de f qui sera l'argument du classement.

Dans les mines, c'est évidemment la valeur de f qu'il faut surtout prendre en considération.

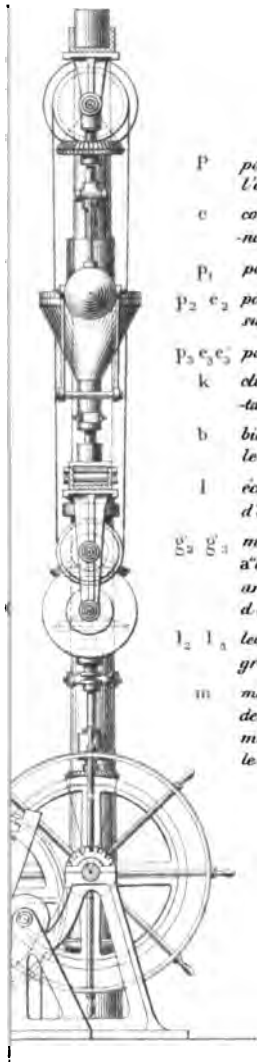
Si, au contraire, il s'agit de déblayer et de projeter une grande masse de terre, c'est la valeur de Q_d qui deviendra l'élément essentiel.

Les exemples précédents montrent que, bien que Q_d puisse être, notamment pour les explosifs complètement brûlés et à température élevée de détonation, assez différent de Q_k, la différence n'est pas cependant assez considérable pour que l'énergie totale Q_k rapportée au kilogramme ne puisse être prise comme la mesure de ce qu'on pourrait appeler le pouvoir *déblayant* de l'explosif.

On voit, en somme, qu'un explosif peut restituer, par détente, à peu près toute l'énergie qu'il tient accumulée. Le résultat expérimental trouvé par la Sous-Commission, qui égale au tiers environ de l'énergie totale de l'explosif l'énergie transformée en travail par la détonation dans un tube d'étain de 25^{mm} sur 40^{mm}, montre que, dans ces conditions, on est encore bien loin d'utiliser toute la portion de l'énergie calorifique disponible.

Nous terminons en remarquant que l'équation (7) justifie le résultat

PROFIL



Légende

P — poulie de commande générale de l'appareil de régulation.

c — courroie mobile actionnant le mécanisme de commande du vannage.

P_1 — poulie folle.

P_2 c_2 — poulie et pignons de fermeture calés sur l'arbre a.

P_3 c_3 c'_3 — poulie et pignons d'ouverture.

k — cliquet calé sur l'arbre a' transmettant le mouvement d'ouverture.

b — bielle mobile permettant de régler le degré d'isochronisme.

l — écrou curseur indiquant le degré d'ouverture du vannage.

g'_2 g'_3 — manchons à griffes calés sur l'arbre a' et transmettant respectivement à cet arbre le mouvement de fermeture et d'ouverture.

l_2 l_3 — leviers de débrayage des manchons à griffes g_2 g_3

m — mouvement de crémone permettant de débrayer simultanément les deux manchons g_2 g_3 et de manœuvrer le vannage à la main.

expérimental obtenu par la sous-commission qui a constaté que la température des gaz, après la projection des parois d'un tube donné, tel que le tube d'étain de 25 sur 40, par exemple, est d'autant plus élevée que la densité de chargement est plus faible. En effet, la densité de chargement abaisse la pression initiale P_0, sans changer ni la température initiale T_0, ni par conséquent le coefficient k. La pression finale P, qui, dans le cas des expériences de la sous-commission, était la pression atmosphérique, restant aussi la même, le rapport $\frac{P}{P_0}$ augmente quand la densité de chargement diminue, et il résulte de l'équation (7) que la température finale T augmente aussi.

COMMISSION DES SUBSTANCES EXPLOSIVES.

SOUS-COMMISSION SPÉCIALE.

RAPPORT SUPPLÉMENTAIRE

SUR

L'ÉTUDE DES QUESTIONS

RELATIVES A

L'EMPLOI DES EXPLOSIFS

EN PRÉSENCE DU GRISOU.

Dans son rapport du 5 juillet dernier, la commission annonçait que les expériences seraient continuées de manière à résoudre, autant que possible, certaines questions restées encore douteuses. Les mois de juillet, août, septembre et octobre ont été employés à ces nouvelles recherches, dont on va faire connaître le résultat.

I. — Explosifs en présence de mélanges d'air et de gaz d'éclairage.

Il a paru intéressant d'expérimenter avec des mélanges gazeux inflammables dans lesquels le formène est remplacé par le gaz d'éclairage. Il est, en effet, utile que des essais semblables à ceux qui ont été faits à la poudrerie de Sevran-Livry par la commission puissent être répétés sans trop de difficultés, soit pour constater

le degré de sécurité d'un explosif nouveau, soit pour s'assurer que les explosifs fournis par l'industrie donnent bien le degré de sécurité qu'ils doivent posséder. Il serait donc très désirable que ces essais pussent être faits en substituant le gaz d'éclairage au formène, dont la fabrication en quantités un peu considérables est difficile et coûteuse.

Les mélanges les plus explosifs d'air et de gaz d'éclairage contiennent environ 15 à 16 pour 100 de ce gaz. La puissance de notre éjecteur ne nous permettait pas de préparer de semblables mélanges dans notre chaudière. On s'est contenté d'opérer avec des mélanges tenant 10,3 pour 100 de gaz, ce qui suffisait parfaitement pour le but qu'on se proposait. On a vu d'ailleurs que l'inflammabilité varie peu, entre certaines limites inférieures et supérieures, avec le dosage du mélange.

On a cherché, comme on l'avait fait pour les mélanges d'air et de formène, à déterminer, pour les mélanges d'air et de gaz d'éclairage, ce que nous avons appelé la *température apparente* d'inflammation sous l'influence de la détonation des explosifs.

On a fait éclater, au milieu du mélange gazeux, des tubes d'étain de 25^{mm} sur 40^{mm} dans lesquels on avait bourré successivement 50^{gr} d'explosifs divers.

On a essayé dans ces conditions les mélanges tenant 10 coton et 90 azotate, 20 coton et 80 azotate, 30 coton et 70 azotate. Aucun de ces mélanges n'a allumé le gaz. Il était inutile d'expérimenter avec les mélanges tenant une proportion plus considérable de coton; car, d'une part, le mélange de 30 pour 100 de coton est celui qui donne la combustion complète et la température la plus élevée; d'autre part, en augmentant la proportion de coton, les gaz provenant de la détonation auraient été combustibles et auraient pu venir s'enflammer au contact du mélange gazeux.

On a ensuite essayé les mélanges de dynamite et d'azotate d'ammoniaque. Les mélanges tenant successivement 60, 70, 80, 90 de dynamite n'ont pas allumé le mélange gazeux en détonant dans le tube d'étain de 25 sur 40. La dynamite non mélangée d'azotate a, au contraire, produit cette inflammation en détonant de la même façon.

Les gaz provenant de la détonation du mélange de 90 de dyna-

mite et 10 d'azotate, après avoir accompli le travail nécessaire pour briser le tube et en projeter les débris, ne conservent plus, comme on l'a démontré dans le rapport du 5 juillet, que les 0,63 de la quantité de chaleur primitive. On en déduit que la température des gaz, lorsqu'ils arrivent en contact avec le mélange gazeux extérieur, est environ de 2.070°. On a calculé précédemment que la dynamite, dans les mêmes conditions, donne des gaz à la température de 2.150°; la température apparente d'inflammation d'un mélange d'air et de gaz d'éclairage, contenant 10 pour 100 de ce gaz, serait donc de 2.100° environ. On avait trouvé 2.200° avec les mélanges d'air et de formène.

Il faut faire, au sujet de cette température, ainsi déterminée d'une manière grossièrement approximative, les mêmes réserves qui ont été déjà faites dans le premier rapport lorsqu'il s'agissait du formène.

Quoi qu'il en soit, on voit que l'inflammabilité des mélanges d'air et de gaz d'éclairage n'est pas, dans les conditions de nos expériences, beaucoup plus considérable que celle des mélanges d'air et de grisou. On pourrait donc, sans trop d'exagération, imposer aux explosifs destinés à être employés dans les mines à grisou la condition de ne pas allumer, au moins dans la grande majorité des cas, les mélanges d'air et de gaz d'éclairage au milieu desquels ils détonent à l'air libre.

Cette conclusion pouvait d'ailleurs, jusqu'à un certain point, être prévue par l'expérience faite, en mai 1887, au laboratoire de l'École des Mines, et dont il a été rendu compte à la commission. On avait constaté qu'une amorce renforcée, tenant $1^{gr},5$ de fulminate et détonant dans une bombe de 4^{lit} de capacité, n'allume ni le mélange tenant 10 pour 100 de formène, ni le mélange tenant 15 pour 100 de gaz d'éclairage, tandis qu'elle allume le mélange tenant 30 pour 100 d'hydrogène.

II. — Influence de la vapeur d'eau sur l'inflammabilité des mélanges grisouteux.

Certains effets capricieux des explosifs détonant à l'air libre avaient porté à penser que l'inflammabilité du gaz pouvait varier avec certaines circonstances, et particulièrement avec l'humidité

de l'air. Les expériences entreprises dans le laboratoire n'ont pas confirmé cette hypothèse et n'ont pas permis de constater de différence appréciable entre l'inflammabilité des mélanges plus ou moins humides.

III. — Études sur le mode de détonation des explosifs.

On a montré, dans le précédent rapport, tout l'intérêt que présente, au point de vue de nos recherches, l'étude d'une question encore imparfaitement connue, malgré les mémorables travaux de MM. Berthelot, Sarrau et Vieille, celle du mode de détonation des explosifs.

D'une part, il est important, pour les nombreux explosifs qu'on peut songer à réaliser, de pouvoir constater, avec quelque précision, l'aptitude plus ou moins grande à la détonation; car une aptitude trop imparfaite devrait à priori faire rejeter l'emploi de la substance.

D'autre part, la température de la détonation est un des éléments les plus importants de la sécurité, et elle dépend essentiellement du mode de décomposition.

Enfin, le mode de décomposition d'une même substance explosive varie avec les circonstances dans lesquelles s'opère la détonation. Il n'est, sans doute, pas le même, au moins nécessairement, lorsque la substance détone à l'air libre ou lorsqu'elle détone dans un vase résistant, et les conditions de sécurité peuvent varier beaucoup d'un cas à l'autre.

Sans espérer résoudre d'une façon complète ces questions délicates, jusqu'ici peu étudiées, il nous a semblé intéressant de multiplier nos recherches sur ce point. Nous avons pu ajouter ainsi un certain nombre de faits nouveaux à ceux qui ont été exposés dans le premier rapport, et, pour plus de clarté, nous allons résumer ici à la fois et les uns et les autres.

Nous commencerons par faire connaître les procédés expérimentaux que nous avons employés et dont le principe a déjà trouvé place dans notre premier travail.

Procédés expérimentaux.

Pour connaître la quantité de chaleur dégagée par la détonation d'un explosif, nous produisons cette détonation dans notre

chaudière close, et nous mesurons, au moyen d'un manomètre à eau, la pression que développe l'élévation de la température intérieure due à la détonation. La température baisse assez rapidement par le refroidissement ; en observant pendant quelques secondes la marche de ce refroidissement, on peut, par une extrapolation admissible, connaître la pression développée au moment même de la détonation, avant que le refroidissement ait commencé à se produire. Cette pression P étant ainsi connue en mètres d'eau, on déduit de la capacité de la chaudière ainsi transformée en calorimètre à air que la quantité de chaleur Q développée dans la chaudière a pour expression

$$Q = 58,4\,P.$$

Détonation à l'air libre. — Lorsque l'explosif détone à l'air libre, Q est la quantité de chaleur développée par la détonation. C'est, en effet, ce que confirment les expériences suivantes, faites avec des substances dont le mode de détonation à l'air libre ne peut être considéré comme bien connu :

NATURE DE L'EXPLOSIF.	POIDS de l'explosif.	PRESSION P en m. d'eau.	Q déduit pour 100gr.	Q théorique pour 100 gr.
Nitromannite.....	25gr	0,61	142	145,0
Dynamite n° 1 de Vonges..	50	0,83	97	97,2 (1)
90 dynam. 10 azot. amm..	25	0,41	96	91,3
80 » 20 » ..	id.	0,38	89	85,4
70 » 30 » ..	id.	0,84	79	79,4
60 » 40 » ..	30	0,36	70	73,5

(1) Pour cet explosif et pour ceux qui suivent, les quantités de chaleur théorique ont été calculées en admettant que la chaleur communiquée à la silice de la dynamite n'est pas restituée immédiatement à l'air ambiant.

La concordance entre les nombres des deux dernières colonnes est assez satisfaisante si l'on songe aux incertitudes inévitables de ces expériences, auxquelles on ne s'est d'ailleurs pas attaché à donner toute la précision dont elles seraient susceptibles.

Détonation dans des vases résistants. — Lorsqu'on fait dé-

toner l'explosif bourré dans un tube métallique résistant, on a montré, dans le premier rapport, que la quantité de chaleur communiquée à l'air de la chaudière, dans l'instant précis qui suit immédiatement la détonation, est égale à la chaleur de détonation diminuée de celle qui équivaut au travail mécanique représenté par la rupture du tube et la projection de ses fragments.

Pour déduire de la quantité de chaleur q observée dans notre calorimètre à air la quantité de chaleur Q réellement développée par la détonation, il faudrait connaître le rapport $\frac{q}{Q}$. Ce rapport varie nécessairement avec la nature et les dimensions du tube. Il varie aussi avec la nature de l'explosif. Le tableau suivant montre cependant que, au moins pour les explosifs dont le mode d'action n'est pas trop différent, $\frac{q}{Q}$ reste, pour un même tube, à peu près indépendant de la nature de l'explosif. Les expériences relatées dans ce tableau ont, d'ailleurs, été faites avec des substances dont on était assuré que la détonation était complète dans le tube métallique, de sorte que Q était connu avec certitude :

NATURE de l'explosif.	POIDS de l'explosif.	P.	Q déduit pour 100gr.	Q théorique pour 100gr.	$\frac{q}{Q}$.	$\frac{q}{Q}$ moyen.
1° *Tubes d'étain de* 25mm *sur* 31mm.						
Dynamite.....	50gr	0,69	81	97,2	0,83	0,80
80 dyn. 20 az. amm.	id.	0,59	69	85,4	0,80	
70 » 30 »	id.	0,53	62	79,4	0,78	
2° *Tubes d'étain de* 25mm *sur* 40mm.						
Dynamite.....	50	0,52	61	97,2	0,63	0,67
90 dyn. 10 az. amm.	id.	0,52	61	91,3	0,66	
80 » 20 »	id.	0,51	60	85,4	0,69	
70 » 30 »	id.	0,47	55	79,4	0,69	
3° *Tubes d'étain de* 25mm *sur* 45mm.						
Dynamite.....	50	0,48	56	97,2	0,58	0,61
70 dyn., 30 azot....	id.	0,44	51,4	79,4	0,65	
4° *Tubes de plomb de* 30mm *sur* 35mm.						
Dynamite.....	50	0,56	65,4	97,2	0,67	0,67
5° *Tubes de plomb de* 32mm *sur* 42mm.						
Dynamite.....	50	0,46	53,8	97,2	0,55	0,55

Les expériences de cette nature ne peuvent d'ailleurs être qu'approximatives, car nous avons montré que la quantité de chaleur transformée en travail varie avec la manière dont l'explosif est tassé dans le tube, et, quel que soit le soin qu'on y apporte, il est impossible de répondre que le tassement se fait toujours de la même façon.

Quoi qu'il en soit, on voit que, au moins pour les explosifs que nous aurons à expérimenter, on peut se rendre compte, d'une manière assez précise, de la manière dont un explosif détone dans un tube, ou, pour parler plus exactement, de la quantité de chaleur qu'il développe en détonant ainsi, en multipliant la quantité de chaleur observée q par l'inverse du rapport $\frac{q}{Q}$ inscrit au tableau précédent et se rapportant au tube employé.

Recherches expérimentales.

Lorsque l'onde explosive se propage à travers une substance susceptible de la transmettre, cette propagation s'accompagne de certaines réactions chimiques qui constituent ce qu'on nomme la *décomposition* de l'explosif. Pour étudier le mode de cette décomposition, il faut distinguer deux classes d'explosifs :

1° Les explosifs simples ou formés d'une seule substance chimique;

2° Les explosifs binaires ou, en général, multiples, formés du mélange intime de deux ou plusieurs substances.

Nous allons étudier successivement chacune de ces deux catégories.

1° EXPLOSIFS SIMPLES.

Lorsque l'explosif simple contient assez d'oxygène pour sa combustion complète, on sait que le mode de décomposition, sous l'influence de l'onde explosive, correspond, en général, à cette combustion même.

Les expériences rapportées plus haut et concernant la nitromannite et la dynamite montrent, en effet, une parfaite concordance entre la quantité de chaleur déduite de cette règle et celle qui a été expérimentalement observée.

L'azotate d'ammoniaque doit, comme explosif, être rangé dans cette catégorie. Mais cette substance possède une aptitude à la détonation beaucoup moins grande que celle des précédentes, et nous ne croyons même pas que la détonation en ait encore été directement constatée. En l'employant à l'état sec et pulvérulent et la bourrant dans un tube d'étain de 25^{mm} sur 45^{mm}, nous avons obtenu la détonation franche d'une cartouche de 50^{gr}, sous l'influence d'une capsule contenant $1^{gr},50$ de fulminate. La quantité de chaleur dégagée a été de 27^{cal} pour 100^{gr}, tandis que la théorie exige 38^{cal} pour le mode de décomposition représenté par la formule

$$Az^2 H^4 O^3 = Az^2 + 2H^2O + O.$$

L'onde explosive n'a donc pas parcouru toute la cartouche, ou plutôt il s'est produit un autre mode de décomposition. M. Berthelot a, on le sait, particulièrement insisté sur les nombreux

modes de décomposition que peut prendre l'azotate d'ammoniaque.

Lorsque l'explosif ne contient pas assez d'oxygène pour la combustion complète de tous ses éléments, le mode de décomposition que produit l'onde explosive est peu connu. Si l'explosif contient du carbone et si l'oxygène est insuffisant pour le brûler entièrement à l'état d'oxyde de carbone, on peut admettre que l'oxygène est employé tout entier à former de l'oxyde de carbone, le reste du carbone restant libre. Le mode de décomposition est exprimé par la formule

$$C^p H^{2q} O^r Az^{2s} = rCO + C^{p-r} + H^{2q} + Az^{2s}.$$

C'est le mode de décomposition qui a été observé par MM. Berthelot et Vieille pour l'azotate de diazobenzol, si l'on néglige des produits secondaires qu'on peut croire dus à des réactions postérieures à la détonation.

Lorsque l'oxygène est plus que suffisant pour transformer tout le carbone en oxyde de carbone, l'excès d'oxygène se partage entre l'oxyde de carbone et l'hydrogène, suivant une loi encore inconnue. MM. Mallard et Le Chatelier ont montré, dans une note jointe au précédent rapport, que, quelle que soit cette loi, on ne s'écartait pas beaucoup de la vérité en admettant que, dans ce cas, la quantité d'hydrogène restée libre après la décomposition est la moyenne entre les quantités minima et maxima qu'il est permis de supposer.

Lorsque les gaz produits par la décomposition de l'explosif sont combustibles, ils peuvent venir brûler dans l'air extérieur. Toutefois, cette combustion, postérieure à la détonation proprement dite, ne se produit pas dans tous les cas. En effet, la commission n'a pas constaté la combustion, par l'air extérieur, des gaz que produit la détonation, à l'air libre, de la cellulose endécanitrique (fulmicoton de guerre), tandis qu'elle a constaté ce phénomène pour les gaz produits par la détonation à l'air libre des celluloses ennéanitrique (coton de mine) et octonitrique.

La commission a d'ailleurs constaté qu'un abaissement de température des gaz de la détonation peut supprimer cette combustion ultérieure. En effet, si les gaz provenant de la détonation du coton octonitrique viennent brûler à l'air lorsqu'ils détonent sans

enveloppe résistante, ils ne brûlent plus lorsque la détonation a lieu dans un tube d'étain de 25 sur 40 ou même dans un tube d'étain de 25 sur 31. La détonation est même incomplète dans ces conditions. C'est ce que montre le tableau suivant :

		POIDS		PRESSION en mètres d'eau.	Q déduit pour 100gr.	Q calculé pour 100gr.
		de la cartouche	du fulminate.			
		gr	gr		cal	cal
Coton octonitrique.	Nue	30	1,5	0,52	100	72 (1)
id.	Sn 25 sur 31	50	id.	0,39	53	id.
id.	Sn 25 sur 40	id.	id.	0,28	52	id.

(1) Ce nombre descendrait à 63 si l'on admettait, ce qui n'est pas invraisemblable, que la décomposition, sous l'influence de l'onde explosive, entraîne la combustion complète de l'hydrogène du coton octonitrique.

2° EXPLOSIFS BINAIRES.

On peut distinguer deux points principaux :

1° Les gaz produits par la décomposition simultanée des deux substances mélangées sont incapables de réagir les uns sur les autres;

2° Les gaz produits par la décomposition simultanée des deux substances peuvent réagir les uns sur les autres.

Dans chacun de ces deux cas, nous aurons à distinguer la détonation à l'air libre sans enveloppe et la détonation dans une enveloppe plus ou moins résistante.

1er Cas. — Gaz de la détonation ne pouvant pas réagir mutuellement.

La commission a étudié les mélanges de *dynamite et d'azotate d'ammoniaque,* ainsi que ceux de *dynamite et d'alun d'ammoniaque.*

Mélanges de dynamite et d'azotate d'ammoniaque.

1° *Détonation à l'air libre.* — On a fait détoner, dans la chaudière, à l'air libre, des mélanges dans lesquels l'azotate d'am-

moniaque se trouve en proportions graduellement croissantes à partir de 10 pour 100. Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

	POIDS de la cartouche.	PRESSION observée en m. d'eau.	Q DÉDUIT pour 100gr.	Q CALCULÉ pour 100gr.
	gr		cal	cal
10 dynamite, 90 azotate.... ..	50	0,08	9,4	44
20 » 80 »	50	0,17	20	50
Id. » id. »	50	0,24	28	id.
30 » 70 »	50	0,30	35	56
40 » 60 »	50	0,45	53	62
50 » 50 »	50	0,53	61	68
60 » 40 »	30	0,36	70	73

Nota. — Dans toutes ces expériences, la capsule contenait 1gr,50 de fulminate.

On voit, par ce tableau, que la décomposition totale de l'explosif n'est obtenue que pour les mélanges contenant plus de 50 pour 100 de dynamite. Pour les autres mélanges, la décomposition va croissant, et même d'une manière sensiblement proportionnelle, avec la proportion de dynamite.

On n'arrive pas, dans ce dernier cas, à rapprocher notablement la décomposition de l'explosif de la décomposition théorique, en augmentant la charge de fulminate. En effet, le mélange 20 dynamite, 80 azotate, a donné, sous l'influence de 4gr de fulminate, une pression égale à 0m,25, à peine différente de la pression 0m,24 obtenue avec 1gr,50 de fulminate.

2° *Détonation dans des vases résistants.* — En faisant détoner une cartouche de 50gr du mélange de 20 dynamite et 80 azotate dans le tube d'étain de 25mm sur 31mm, on obtient une pression de 0m,22 qui, en tenant compte de la quantité de chaleur convertie en travail, correspond à 32cal. A l'air libre, on avait trouvé 28cal, ce qui est assez peu différent.

En faisant détoner une cartouche de 50gr du même mélange dans un tube de 25mm sur 40mm, on obtient 53cal, ce qui correspond presque exactement à la décomposition complète de la dynamite et de l'azote.

La décomposition, qui, à l'air libre et dans le tube de 25^{mm} sur 31^{mm}, se fait à peu près de la même façon et reste incomplète, devient donc complète dans le tube de 25^{mm} sur 40^{mm}.

Mélanges divers.

La commission avait essayé, dans les mêmes conditions, la détonation d'un mélange de 67 de dynamite et 33 d'alun d'ammoniaque. La quantité de chaleur de la déshydratation de l'alun d'ammoniaque est d'environ 350^{cal} par kilogramme. La détonation complète de la dynamite et la déshydratation complète de l'alun dans le mélange expérimenté donneraient une quantité de chaleur de 53^{cal} pour 100^{gr}; la détonation de la dynamite, l'alun restant inaltéré, donnerait 66^{cal}.

La détonation à l'air libre a donné 52^{cal}, ce qui s'accorderait avec une déshydratation totale de l'alun. Mais il est vraisemblable que c'est là une simple coïncidence, et que la détonation à l'air libre n'est qu'incomplète; car, dans le tube d'étain de 25 sur 40, la détonation a donné 71^{cal}, c'est-à-dire à très peu près la quantité de chaleur correspondant à la détonation de la dynamite, sans la diminution qu'aurait entraînée la déshydratation de l'alun.

L'alun ammoniacal n'a donc pas le temps de se déshydrater, au moins d'une manière importante, pendant la détonation de la dynamite, même lorsque la détonation se fait dans un vase à parois résistantes. Il en serait sans doute tout autrement dans un vase complètement clos, et de capacité invariable.

Nous rappellerons simplement que la commission était arrivée à conclure que, même dans les tubes d'étain de 25 sur 40, les mélanges de dynamite et de chlorhydrate d'ammoniaque détonent sans entraîner, en proportion notable, la décomposition du chlorhydrate.

En résumé, il semble résulter des faits précédents que, lorsque l'on fait détoner un mélange de plusieurs substances dont les produits de décomposition ne réagissent pas mutuellement, les substances qui ne sont pas explosives, c'est-à-dire dont la décomposition absorbe de la chaleur, ne se décomposent que peu ou point pendant la propagation de l'onde explosive; leur décomposition n'a lieu que dans la détonation en vase clos.

Pour les mélanges de dynamite et d'azotate d'ammoniaque, la décomposition n'est complète, à l'air libre ou dans des tubes d'étain de 25 sur 31, que lorsque la proportion de dynamite est supérieure à 50 pour 100. Elle est complète au contraire dans des tubes d'étain de 25 sur 40, au moins lorsque la proportion de dynamite est égale ou supérieure à 20 pour 100.

2e Cas. — Gaz de la détonation pouvant réagir mutuellement.

La commission a expérimenté un grand nombre de mélanges formés en ajoutant à l'azotate d'ammoniaque une substance combustible ou se décomposant par la détonation en produits combustibles.

Détonation à l'air libre.

Mélanges de coton octonitrique et d'azotate d'ammoniaque. — Le tableau suivant donne les résultats obtenus en faisant détoner à l'air libre des mélanges, en diverses proportions, de coton octonitrique et d'azotate d'ammoniaque.

Détonation à l'air libre.

				POIDS de la cartouche.	POIDS du fulminate.	PRESSION en e^{s} d'eau.	Q DÉDUIT pour 100gr.	Q CALCULÉ (1) pour 100gr.	OBSERVATIONS.
10	coton	octonitr.	90 azot.	50gr	1gr,5	0,25	29	41	Matière pulvérulente.
15	»	85	»	25	1,5	0,16	38	43	id.
20	»	80	»	50	1,5	0,15	18	44	Matière comprimée, probablement humide.
	id.			30	1,5	0,13	25	»	Matière pulvérulente, probablement humide.
	id.			50	1,5	0,34	40	»	Matière pulvérulente sèche.
	id.			50	1,5	0,38	44	»	id.
	id.			50	1,5	0,38	44	»	id.
	id.			25	4,0	0,21	49	»	id.
25	»	75	»	50	2 am. de 1gr,5	0,41	48	47	id.
30	»	70	»	25	1,5	0,20	47	48	id.
35	»	65	»	30	1 am. de 1gr,5.	0,17	33	50	Matière pulvérulente, probablem. un peu humide.
	id.			50	id.	0,43	50	»	Matière comprimée sèche.
40	»	60	»	30	id.	0,27	53	52	id.
60	»	40	»	30	id.	0,35	68	59	id.
70	»	30	»	50	id.	0,92	107	62	Matière pulvérulente.
80	»	20	»	30	id.	0,63	123	66	Matière comprimée.
90	»	10	»	30	id.	0,94	183	69	id.
100	»	0	»	30	id.	0,59	115	73	Matière pulvérulente.

(1) Les quantités de chaleur inscrites dans cette colonne sont calculées dans l'hypothèse de la décomposition des deux substances mélangées, sans réaction ultérieure.

Il est intéressant de comparer les quantités de chaleur directement observées avec celles qui ont été calculées dans l'hypothèse où les deux substances mélangées sont décomposées simultanément par l'onde explosive, mais où les produits de cette décomposition, les uns comburants, les autres combustibles, ne réagissent

pas mutuellement. On constate en effet que, tant que le coton n'est pas en excès, c'est-à-dire n'atteint pas 60 pour 100, les quantités de chaleur maxima, qui paraissent correspondre à la limite de la détonation, et que l'on observe pour un mélange donné en provoquant la détonation par de très puissantes amorces, sont égales aux quantités de chaleur calculées. Les choses se passent donc comme si l'onde explosive provoquait la décomposition des deux substances explosives mélangées sans que les gaz produits par cette décomposition aient le temps, avant d'être dispersés dans l'air ambiant, de réagir les uns sur les autres.

Lorsque la proportion de coton octonitrique dépasse 60 pour 100, les gaz produits par la décomposition de ce coton viennent brûler, plus ou moins complètement, au contact de l'air, et la quantité de chaleur observée est alors supérieure à celle qui résulterait même de la réaction mutuelle et complète de l'oxygène de l'azotate sur les produits gazeux de la décomposition du coton.

Mélanges de binitrobenzine et d'azotate d'ammoniaque. — Ces mélanges sont formés en mélangeant l'azotate sec et pulvérulent à la binitrobenzine fondue. Ils ont donné, en détonant à l'air libre, les résultats suivants :

Détonation à l'air libre.

	POIDS de la cartouche.	POIDS du fulminate.	PRESSION observée.	Q déduit pour 100gr.	Q calculé.	
	gr	gr				
17,5 binitrobenzine..	50	1,5	0,25	29	41	Matières pulvérulentes.
82,5 azotate (bellite).	id.	id.	0,28	33	»	
	id.	2 am. de 1,5	0,34	40	»	
10 binitrob., 90 azot.	25	1,5	0,16	37	39	

Les choses se passent encore ici comme si la limite de la détonation correspondait à la décomposition simultanée, mais sans réaction mutuelle ultérieure, des produits de cette décomposition.

Mélanges de picrate et d'azotate d'ammoniaque. — Les expériences suivantes ont été faites sur des mélanges pulvérulents et

secs de picrate et d'azotate d'ammoniaque, tassés à la main dans des cylindres en papier.

Détonation à l'air libre.

	POIDS de la cartouche.	POIDS du fulminate.	PRESSION en mèt. d'eau.	Q déduit pour 100gr.	Q' calculé (1).	Q'' calculé (2).
		gr				
Picrate pur.....	50	1,5	0	0	56	0
60 picrate 40 azot...	id.	id.	0,14	16	49	15
50 » 50 »	id.	id.	0,15	18	47	19
40 » 60 »	id.	id.	0,19	22	45	23
28 » 72 »	id.	id.	0,17	20	43	27
20 » 80 »	id.	id.	0,23	27	42	30
10 » 90 »	id.	id.	0	0	40	34

(1) En admettant la décomposition simultanée des deux substances, mais sans réaction ultérieure.

(2) En admettant la décomposition de l'azote seul.

Ce tableau montre ce fait singulier que la quantité de chaleur dégagée par l'explosion croît assez régulièrement avec la proportion d'azotate, et que les choses se passent à peu près comme si l'onde explosive produisait seulement la décomposition de l'azotate sans produire celle du picrate.

Mélanges divers. — On a aussi fait détoner à l'air libre des cartouches formées par des mélanges d'azotate d'ammoniaque avec diverses substances combustibles, mais ne détonant pas à l'air libre sous l'influence des amorces, telles que la naphtaline, la colophane, le goudron de houille, les huiles lourdes du gaz. La détonation de ces mélanges à l'air libre est très incomplète et ne donne que des pressions peu considérables qui indiquent que, au moins dans le plus grand nombre des cas, l'onde explosive s'évanouit avant d'avoir parcouru toute la masse de l'explosif.

Résumé. — En résumé, les mélanges formés en ajoutant à l'azotate d'ammoniaque diverses subtances combustibles, explosives ou non, détonent toujours à l'air libre d'une façon très incomplète.

Tantôt l'onde explosive, provoquée en un point, s'évanouit certainement avant d'avoir parcouru la masse de l'explosif; tantôt les choses se passent comme si l'onde explosive, parcourant toute la cartouche, se bornait à provoquer la décomposition des substances explosives que contient le mélange, les gaz provenant de cette décomposition étant dispersés avant de réagir mutuellement.

Détonation dans un vase massif et résistant.

Examinons maintenant les effets de la détonation dans un vase résistant.

On a essayé la détonation dans un tube d'étain de 25^{mm} sur 31^{mm}. Les résultats ont été les suivants :

Détonation dans le tube d'étain de 25^{mm} sur 31^{mm}.

	POIDS de la cartouche.	POIDS du fulminate.	PRESSION observée.	Q déduit pour 100gr.	Q calculé pour 100gr (1).	OBSERVATIONS.
	gr	gr		cal		
20 coton octonit. 80 azot.	50	1.5	0,34	50	44	Mat. pulvérulente.
90 » 10 »	30	id.	0,27	66	69(2)	id.
10 binitrobenz. 90 azot.	50	id.	0,30	44	39	id.
6 naphtaline, 94 azot.	id.	id.	0,26	38	»	id.
10 » 90 azot.	id.	id.	0,28	41	»	id.
10 picrate d'am. 90 azot.	id.	id.	0,22	32	39	id.
20 » 80 »	id.	id.	0,30	40	41	id.
28 » 72 »	id.	id.	0,35	51	43	id.
40 » 60 »	id.	id.	0,35	51	45	
50 » 50 »	id.	id.	0,34	50	47	
60 » 40 »	id.	id.	0,30	40	49	
100 » 0 »	id.	id.	0,13	19	56	
8 goudron.... 92 azot.	id.	id.	0,27	39	»	Chauffé 1h à 65°.
12 » 88 »	id.	id.	0,09	13	»	Non chauffé.
10 huiles lourd. 90 azot.	id.	id.	0,20	29	»	

(1) Les quantités de chaleur sont calculées dans l'hypothèse de la décomposition simultanée des deux substances *sans réaction ultérieure*.

(2) 61 si l'on admet l'oxydation complète de l'hydrogène du coton octonitrique.

Pour les mélanges à base de coton octonitrique et de binitrobenzine, la détonation s'est faite dans le tube d'étain de 25 sur 31 à peu près de la même façon qu'à l'air libre; la réaction mutuelle des produits de la détonation ne paraît pas s'être produite, sans doute en raison de la résistance insuffisante opposée à l'expansion des gaz. On remarquera que les gaz provenant de la décomposition du mélange 90 coton et 10 azotate ne se sont pas enflammés au contact de l'air, comme ils le faisaient après la détonation sans enveloppe.

Les mélanges de naphtaline et d'azotate, qui ne détonaient pas à l'air libre, détonent en dégageant des quantités de chaleur qu'on peut considérer comme égales à celles que dégagerait la décomposition de l'azotate seul.

La quantité de chaleur dégagée par le mélange 8 goudron et 92 azotate est très peu supérieure à celle que dégageait la décomposition de l'azotate seul, et qui est égale à 35^{cal}.

La quantité de chaleur dégagée par le mélange 10 huiles lourdes et 90 azotate est un peu inférieure à celle (36^{cal}) que dégageait la décomposition de l'azotate seul.

Quant aux mélanges de picrate et d'azotate d'ammoniaque, les quantités de chaleur dégagées sont en général légèrement supérieures à celles qui résulteraient de la décomposition simultanée sans réaction mutuelle. La plupart des tubes ont éclaté d'une façon bien complète, et il ne restait dans la chaudière que le culot contenant la bourre placée au-dessus de l'explosif. Les culots des tubes contenant les mélanges 10 sur 90 et 60 sur 40 étaient cependant de 1 à 2 centimètres plus longs que la bourre, ce qui montre que le fond de la cartouche n'a pas détoné. Pour ces mélanges, les quantités de chaleur observées sont en effet inférieures à la quantité qui résulterait de la décomposition simultanée sans réaction mutuelle.

Les résultats obtenus par la détonation dans le tube d'étain de 25^{mm} sur 40^{mm} sont très différents des précédents, comme le montre le tableau qui suit :

Détonation dans le tube d'étain de 25mm sur 40mm.

	POIDS de la cartouche.	POIDS du fulminate.	PRESSION observée.	Q DÉDUIT pour 100gr.	Q calculé (1).	OBSERVATIONS.
10 coton octronit. 90 azot.	50gr	1,5	0,27	49	59	Matière pulvérulente probablemt un peu humide.
15 » 85 »	25	1,5	0,20	72	70	Matière pulv. bien sèche.
20 » 80 »	»	»	0,21	84	80	id.
30 » 70 »	50	»	0,42	75	88	id.
60 » 40 »	30	»	0,30	90	96	id.
80 » 20 »	»	»	0,28	84	82	id.
90 » 10 »	»	»	0,23	69	76	id.
17 binitrob. 83 azotate. (Bellite).	50	»	0,51	95	100	id.
10 binitrob. 90 azotate.	25	»	0,18	65	74	id.
9 mononitronapht. 91 az.	50	1,5	0,42	75	97	id.
6 naphtaline, 94 azotate.	id.	id.	0,38	68	94	id.
10 » 90 »	id.	id.	0,29	52	92	id.
10 picr..... 90 azot.	id.	id.	0,22	40	60	id.
20 » 80 »	id.	id.	0,31	56	83	id.
28 » 72 »	id.	id.	0,31	56	100	id.
40 » 60 »	id.	id.	0,36	65	91	id.
50 » 50 »	id.	id.	0,30	54	90	id.
60 » 40 »	id.	id.	0,27	48	85	id.
100 » 0 »	id.	id.	0,16	28	»	
8 goudron..... 92 »	id.	id,	0,23	41	»	Chauffé 1h à 60°.
12 » 88 »	id.	id.	0,12	22	»	Non chauffé.
10 huiles lourdes 90 »	id.	id.	0,21	38	»	

(1) Les quantités de chaleur sont calculées dans l'hypothèse qu'après la décomposition des deux substances, les gaz réagissent complètement les uns sur les autres.

Les mélanges à base de coton octonitrique et de binitrobenzine donnent bien, en détonant dans les tubes de 25 sur 40, les quantités de chaleur correspondant à la détonation complète.

Pour les mélanges à base de mononitronaphtaline, de naphtaline ou de picrate, les quantités de chaleur sont en général beaucoup

plus grandes que celles qui correspondent à la décomposition de l'azotate d'ammoniaque ou à la décomposition simultanée des deux substances, mais elles sont plus ou moins inférieures à celles qui résulteraient de la détonation complète.

Pour les mélanges de picrate, sauf pour ceux qui contiennent 10, 20 ou 60 de picrate, on s'est assuré que les tubes métalliques étaient complètement brisés dans toute la partie qui contenait l'explosif, ce qui semble indiquer que toute la cartouche a détoné, bien que les quantités de chaleur observées soient très inférieures à celles qui auraient dû se développer si les réactions mutuelles des gaz produits avaient eu lieu intégralement.

Pour les mélanges à base de goudron et d'huiles lourdes, les quantités de chaleur dégagées sont à peine supérieures à celles qui résulteraient de la décomposition de l'azotate seul.

On a fait enfin quelques expériences dans des tubes d'étain de 25 sur 45; les résultats n'ont pas été très différents de ceux qu'on avait obtenus avec les tubes de 25 sur 40.

RECHERCHE DES EXPLOSIFS PRÉSENTANT DES GARANTIES SUFFISANTES DE SÉCURITÉ.

La commission, dans son précédent rapport, avait posé les principes qui doivent guider dans la recherche des explosifs propres à assurer la sécurité des mines à grisou. Les expériences faites depuis la rédaction de ce rapport sont venues confirmer ces principes et permettre de les compléter sur certains points.

La commission a constaté que des explosifs détonant dans des tubes métalliques ne cessent d'allumer les mélanges grisouteux les plus explosifs que lorsque le travail imposé aux gaz provenant de la détonation est suffisant pour abaisser la température théorique de ceux-ci au-dessous de 2.200° environ. Elle en a conclu que les explosifs à employer dans les mines à grisou doivent être cherchés parmi ceux dont la température de détonation est inférieure à ce chiffre, et dont les gaz, après la décomposition, ne sont plus combustibles. Parmi les explosifs simples, on ne connaît actuellement que l'azotate d'ammoniaque qui réalise cette double condition; mais cette substance, comme on l'a vu plus haut, ne détone qu'imparfaitement lorsqu'elle est seule, et sa *force explosive* est peu

considérable. Il faut donc recourir nécessairement à un explosif binaire.

La commission a écarté de la composition des mélanges binaires susceptibles d'être employés les substances qui, non explosives par elles-mêmes, ne sont pas combustibles. Ces substances, en effet, ne se démposent pas, ainsi qu'on l'a vu plus haut, sous l'influence de l'onde explosive. Dans la détonation à l'air libre, elles n'agissent donc qu'en refroidissant les gaz par leur capacité calorifique, ce qui oblige à les employer en grand excès. Mais alors, dans la détonation en vase clos, la décomposition, venant à se produire, absorbe une grande quantité de chaleur et diminue trop la force de l'explosif.

Il ne reste donc plus à recourir qu'à des mélanges binaires de deux catégories : ou bien les deux substances mélangées sont toutes deux explosives et comburantes; ou bien, l'une des substances étant explosive et comburante, l'autre, explosive ou non, est susceptible d'être brûlée par l'exès d'oxygène que donne la décomposition de la première.

Mélanges de deux substances comburantes.

Mélanges de dynamite et d'azotate d'ammoniaque. — Examinons d'abord le premier cas. Les seuls explosifs actuellement connus qui se décomposent avec excès d'oxygène sont la nitroglycérine, la nitromannite et l'azotate d'ammoniaque. La température de détonation de la nitroglycérine est de 3150° environ; celle de la détonation de la nitromannite est à peu près la même. Il est donc impossible d'employer ces explosifs seuls ou mélangés ensemble. La nitromannite est d'ailleurs une substance dont le prix serait assez élevé. Les seuls mélanges qu'on puisse tenter sont ainsi ceux de nitroglycérine et d'azotate d'ammoniaque. La Commission a toujours employé pour ses essais la nitroglycérine à l'état de dynamite, c'est-à-dire mélangée à 25 pour 100 de silice absorbante. Dans la fabrication en grand, il y aurait lieu de voir si l'on peut supprimer la silice et se servir de l'azotate d'ammoniaque comme corps absorbant, sans risquer de voir, sous l'influence de l'humidité atmosphérique, l'eau chasser de l'azotate la nitroglycérine, faire ainsi exsuder celle-ci et rendre l'explosif dangereux à manier.

On a vu, dans le précédent rapport, que le mélange de dynamite et d'azotate d'ammoniaque, dont la température de détonation est de 2.200°, contient 60 parties de dynamite et 40 parties d'azotate. Ce mélange et tous ceux qui contiennent une proportion d'azotate supérieure peuvent donc être considérés comme présentant un certain degré de sécurité en présence du grisou, *dans l'usage ordinaire,* c'est-à-dire lorsqu'ils détonent bourrés, même légèrement, dans un trou de mine. On a pu, en effet, faire détoner à l'air libre, dans un mélange d'air et de grisou, une cartouche de 50^{gr} contenant 60 parties de dynamite et 40 parties d'azotate sans produire l'inflammation du mélange grisouteux. Ce fait est d'autant plus confirmatif des théories présentées par la Commission, que ce mélange détone complètement, comme on l'a vu plus haut, à l'air libre, et que la cartouche a ainsi développé certainement au milieu du gaz la température de 2.200° ou une température très voisine.

La sécurité dans l'emploi des explosifs bourrés au fond d'un trou est évidemment la plus importante à assurer, car il faut poser comme règle absolument impérative que les explosifs ne seront jamais employés autrement, et qu'on ne doit, en aucun cas et sous aucun prétexte, en produire la détonation sans enveloppe, à l'air libre. Toutefois, on peut craindre que cette règle, si impérative qu'elle doive être, vienne à être violée, soit par une faute lourde d'un ouvrier, soit par un accident, assez difficile à imaginer sans doute, mais qui n'est pas tout à fait impossible, et qu'il convient de prévoir.

Or, les expériences de la commission, d'accord avec les expériences prussiennes, ont montré que la détonation des explosifs sans enveloppe donne lieu à des phénomènes qui ne se reproduisent pas toujours identiques à eux-mêmes. Si les substances dont la température de détonation à l'air libre est supérieure à 2.200°, tels que la dynamite ou les mélanges de dynamite et d'azotate contenant plus de 60 parties de dynamite, allument toujours les mélanges grisouteux au milieu desquels ils détonent sans enveloppe, des mélanges dont la température de détonation est inférieure à 2.200° peuvent, en détonant dans les mêmes conditions, sous des causes mal définies et qui paraissent même difficiles à prévoir, produire l'inflammation du gaz. Aussi la Commission

avait pris grand soin de signaler « la complexité et le peu de fixité des phénomènes qui peuvent se présenter dans la détonation des explosifs à l'air libre ».

Nous avons vu plus haut qu'en ce qui regarde les mélanges de dynamite et d'azotate, la détonation à l'air libre se produit toujours, au point de vue de la quantité de chaleur développée, dans des conditions bien définies. Il n'y a d'irrégularité que dans le phénomène de l'inflammation du mélange grisouteux extérieur. Il semble donc possible, sinon vraisemblable, que ces irrégularités tiennent à l'imperfection, presque impossible à éviter absolument, du mélange des deux substances. On conçoit qu'une parcelle de dynamite puisse détoner seule à la surface de la cartouche et produire l'inflammation du gaz. S'il en est ainsi, on aura d'autant plus de chances d'inflammation que la surface de la cartouche sera plus grande, c'est-à-dire que la cartouche sera plus volumineuse : on aura aussi d'autant plus de chances d'éviter l'inflammation que la quantité d'azotate sera plus considérable par rapport à celle de la dynamite. Ces deux conséquences sont d'accord avec les faits.

La commission, pour déterminer les proportions du mélange de dynamite et d'azotate qu'il convient de recommander aux exploitants de mine, a fait détoner à l'air libre des mélanges dans lesquels on augmentait graduellement la proportion d'azotate et qu'on plaçait chaque fois dans les conditions les plus dangereuses, en faisant croître le poids de la cartouche. On a obtenu ainsi les résultats suivants :

	CARTOUCHES DU POIDS DE		
	50gr.	100gr.	200gr.
60 p. dynamite. 40 azotate.....	1 exp. N (1)	»	»
50 » 50 »	2 exp. N	1 exp. I	»
40 » 60 »	2 exp. N	1 exp. I	»
30 » 70 »	1 exp. N	2 exp. N	2 exp. N
20 » 80 »	1 exp. N	5 exp. N	2 exp. N

(1) N veut dire *Non-inflammation*, I, *Inflammation* du mélange gazeux.

On a vu d'ailleurs qu'une cartouche de 50^{gr} du mélange, 20 dynamite 80 azotate, a pu détoner au milieu d'un mélange d'air et de gaz d'éclairage sans l'allumer.

On peut donc considérer comme présentant de très hautes garanties de sécurité le mélange à 20 dynamite 80 azotate et même le mélange à 30 dynamite 70 azotate.

Ces deux mélanges constituent d'ailleurs des explosifs énergiques. On a en effet :

	f (1).	Q_k.
Dynamite.....	8,490	1,109
30 dynamite, 70 azotate.....	6,750	600
20 » 80 »	6,260	530

(1) f est le coefficient que nous avons appelé, dans le premier rapport, la *force explosive;* Q_k est la quantité de chaleur dégagée par la détonation d'un kilogramme de substance.

La pression obtenue, en vase clos, par le mélange 20 dynamite 80 azotate, à densité de chargement égale, serait donc à peu près les 0,74 de celle qu'on obtient avec la dynamite. Il est vrai que le pouvoir de déblayement serait environ moitié moindre, mais c'est, dans les mines, l'élément qui joue le rôle le moins important.

La commission a constaté que ces explosifs détonent complètement sous l'influence d'amorces renforcées contenant seulement 0^{gr},50 de fulminate.

Mélanges formés d'une substance comburante et d'une substance combustible.

Passons maintenant aux mélanges dans lesquels un des explosifs est comburant, et l'autre combustible. L'excès d'oxygène libre dans les produits de l'explosif comburant étant toujours faible, on est amené, lorsqu'on veut arriver à la combustion complète, ce qui est une garantie nécessaire de sécurité, à employer une proportion considérable de cet explosif. Avec la dynamite et la nitromannite on serait conduit à des températures de détonation inadmissibles. Le seul explosif comburant qu'on puisse employer est donc l'azotate d'ammoniaque.

Quant à l'explosif combustible, le choix en est au contraire très grand : on peut recourir à la cellulose plus ou moins nitrée, à la binitrobenzine, à la naphtaline mononitrée, au nitrate de diazobenzol, aux divers carbures d'hydrogène solides ou liquides, etc.

Mélanges de coton nitré et d'azotate d'ammoniaque. — Après divers essais, la commission s'est arrêtée au coton octonitrique, titrant environ 173^{cc} de bioxyde d'azote au gramme. On obtient ainsi un explosif d'un prix moins élevé que si l'on recourait à un coton plus fortement nitré, et l'on abaisse, toutes choses égales, la température de la détonation.

On avait pensé à employer ces mélanges à l'état comprimé, ce qui eût permis de les protéger plus efficacement contre l'humidité ; mais des expériences spéciales ont appris que, dès que la compression atteint 25^{atm}, l'explosif détone mal sous l'influence d'une amorce de $1^{gr},50$. On s'est donc contenté de tasser la substance à la main dans des cylindres en papier paraffiné. Une seconde enveloppe, également en papier paraffiné, achève la protection de la matière contre l'humidité atmosphérique.

La combustion complète du coton octonitrique est obtenue avec le mélange 30 coton 70 azotate. C'est donc seulement à ce mélange ou aux mélanges plus chargés en azotate qu'on peut s'adresser, puisqu'on doit se poser comme condition que, dans la détonation en vase clos, ou après le bourrage au fond du trou, les gaz de la détonation ne soient pas combustibles, c'est-à-dire ne contiennent ni hydrogène ni oxyde de carbone.

On a procédé comme pour les mélanges de dynamite et d'azotate en soumettant à des essais variés des mélanges de plus en plus riches en azotate. Les résultats ont été les suivants :

	POIDS DES CARTOUCHES			
	30^{gr}.	50^{gr}.	100^{gr}.	200^{gr}.
30 coton 70 azotate.....	»	»	1 exp. N.	»
20 » 80 »	»	2 exp. N.	4 exp. N. 1 exp. I.	2 exp. I. »
15 » 80 »	»	»	»	2 exp. N.

Le mélange 20 coton 80 azotate présente déjà un assez grand degré de sécurité, mais la sécurité du mélange 15 coton 85 azotate est plus élevée : c'est donc ce mélange ou des mélanges encore plus chargés en azotate qu'il convient de recommander.

L'explosif est suffisamment énergique, car on a :

	f.	Q_4.
Dynamite.....	8,490	1,109
20 coton 80 azotate.....	7,610	810
15 » 85 »	7,000	700

A densité de chargement égale, les pressions seraient, pour le mélange 15 coton 85 azotate, les 0,83 des pressions données par la dynamite. Les quantités de chaleur disponibles sont dans le rapport de 0,64 à 1.

On s'est assuré que ces mélanges détonent mal lorsque le poids du fulminate de l'amorce est inférieur à $1^{gr},5$.

Mélanges de binitrobenzine et d'azotate d'ammoniaque. — Ces mélanges sont faits en fondant la binitrobenzine et y incorporant l'azotate d'ammoniaque pulvérisé très fin. Les grains d'azotate sont ainsi enrobés en quelque sorte par la binitrobenzine; il en résulte que ces mélanges sont moins sensibles à l'influence de l'humidité atmosphérique que les mélanges de coton et d'azotate. On les protège d'ailleurs de même par une double enveloppe de papier paraffiné.

La combustion complète est obtenue pour un mélange de 12,5 de binitrobenzine et de 87,5 d'azotate. Le mélange présenté par M. Lamm sous le nom de *bellite* paraît formé par 15 parties de binitrobenzine et 85 parties d'azotate. Les proportions possibles du mélange sont très limitées. En procédant toujours de la même façon que pour les autres mélanges, on a obtenu les résultats suivants :

	40gr.	50gr.	100gr.	200gr.
20 p. binitrobenz. 80 p. azot.	»	»	1 exp. N.	
Bellite.....	1 exp. N.	1 exp. N.	1 exp. N. 1 exp. I.	
10 p. binitrobenz. 90 p. azot.	1 exp. N.	»	1 exp. N.	2 exp. N. 1 exp. I.

On voit que le mélange de 10 parties de binitrobenzine et 90 parties d'azotate présente un assez haut degré de sécurité, puisque nous n'avons obtenu l'inflammation des gaz qu'avec une cartouche de 200gr et encore une fois seulement sur deux essais. On pourrait essayer de diminuer encore la proportion de binitrobenzine, et l'essai réussirait probablement, car le mélange à 10 parties de binitrobenzine détone encore très bien sous l'influence d'une amorce de 1gr,5. Il vaudra mieux se contenter de comprimer, s'il est possible, la substance qui, dans les précédentes expériences, a été employée à l'état pulvérulent.

Ce mélange est d'ailleurs suffisamment énergique, comme on le voit par le tableau suivant :

	f.	Q_4.
Dynamite.....	8490	1109
12,5 binitrobenzine 87,5 azotate	8000	1006
10 binitrobenzine 90 azotate.....	6700	750

Le mélange à 10 pour 100 de binitrobenzine détone mal sous des amorces contenant moins de 1gr,5 de fulminate.

Mélanges de mononitronaphtaline et d'azotate d'ammoniaque. — La combustion complète a lieu pour un mélange de 9,15 de mononitronaphtaline et de 90,85 d'azotate. A l'état grené, ce mélange détone, quoique d'une façon incertaine, à l'air libre. Il a, sous cet état, donné les résultats suivants dans la détonation à l'air libre au milieu du grisou :

CARTOUCHES DE		
40gr.	50gr.	100gr.
1 exp. I.	3 exp. N.	2 exp. N. (*Détonation très incomplète.*)

Mélanges de naphtaline et d'azotate d'ammoniaque. — On a essayé de mélanger la naphtaline à l'azotate d'ammoniaque.

Le mélange à combustion complète tient 6 naphtaline et 94 azotate. Nous l'avons préparé en versant l'azotate sec et pulvérisé dans la naphtaline fondue. Celle-ci paraît mouiller l'azotate plus difficilement que ne le fait la binitrobenzine. Il en résulte un enrobage moins parfait et une préservation plus incertaine de l'azotate contre l'humidité. Le mélange ne détone à l'air libre que d'une façon très imparfaite. Dans le tube d'étain 25 sur 31, l'onde explosive produit la décomposition, mais la détonation, encore très incomplète, ne paraît correspondre qu'à la détonation de l'azotate seul (voir tableau p. 482). Dans le tube d'étain de 25 sur 40, la détonation n'est pas encore complète, mais elle approche de l'être, car on a observé la production de 68cal pour 100gr, tandis que la théorie exige 94cal (voir p. 484). On peut donc croire que, dans les trous de mine convenablement bourrés, la détonation sera suffisante.

Dans un trou de mine de 1m de profondeur, foré à Sevran dans une terre argileuse, une cartouche de 200gr, bourrée avec soin, a produit une chambre de compression, dont les trois dimensions principales ont été 0m,50; 0m,49; 0m,45.

Les expériences faites dans les mélanges d'air et de grisou ont donné les résultats suivants :

CARTOUCHES DU POIDS DE			
100gr.		200gr.	
Pression.	Résultat.	Pression.	Résultat.
0m,04	N	0,07	N
		0,10	N

L'une des deux cartouches de 200^{gr} expérimentées était soumise à l'influence de trois amorces renforcées de 1^{gr},5; malgré cela la détonation a été extrêmement faible.

Deux cartouches, l'une de 75^{gr}, l'autre de 110^{gr}, bourrées dans des tubes d'étain de 25 sur 31, ont détoné franchement sans allumer le grisou.

Des essais ont aussi été faits dans des mélanges d'air et de *gaz d'éclairage;* ils ont donné les résultats suivants :

CARTOUCHES DU POIDS DE			
100^{gr}.		200^{gr}.	
Pression.	Résultat.	Pression.	Résultat.
0^{m},03	N	»	I
0^{m},03	N		

Une cartouche du poids de 50^{gr} bourrée dans un tube d'étain de 25 sur 31 a détoné franchement sans allumer le mélange gazeux.

On n'a donc pu produire, en résumé, l'inflammation du gaz intérieur avec le mélange naphtaline-azotate qu'avec une cartouche de 200^{gr}, détonant à l'air libre dans un mélange d'air et de *gaz d'éclairage.*

Le mélange naphtaline-azotate pourra donc être d'un emploi avantageux et sûr si, comme il est très vraisemblable, son aptitude à la détonation est reconnue pratiquement suffisante.

Voici d'ailleurs les données physiques et chimiques de ce mélange :

Naphtaline et azotate d'ammoniaque.

$$C^{10}H^{8} + 24Az^{2}H^{4}O^{3} = 10CO^{2} + 52H^{2}O + 24Az^{2}, \qquad \varpi = 2048.$$

Q.	Q_k.	t.	f.	α.
1930	943	2070°	8330	0,936

Des essais faits dans la bombe par M. Bruneau, avec 1^{gr} de poudre fine comme allumeur, ont donné les résultats suivants :

$\Delta = 0,2$, $P = 1850^{kg}$, P théor. $= 2050$,
$\Delta = 0,8$, $P = 3246^{kg}$, P théor. $= 3400$.

Mélanges de goudron de houille et d'azotate d'ammoniaque. — On a essayé un mélange de 88 parties d'azotate d'ammoniaque avec 12 parties de goudron de houille *tout-venant*.

La substance détone assez mal, même dans des tubes métalliques.

Dans le grisou, avec des cartouches de 200^{gr}, on n'a produit l'inflammation qu'une fois sur trois expériences.

Dans les deux expériences qui n'ont pas produit l'inflammation, la pression qui a produit la détonation est montée, une fois à 50^{cm}, une autre fois à 56^{cm} d'eau.

Pour chasser les matières les plus volatiles, on a essayé de chauffer le mélange pendant deux heures à l'étuve à 65°; deux cartouches de 200^{gr} de mélange ainsi traité ont détoné dans le grisou sans l'allumer, mais sans produire une pression notable dans la chaudière.

On a essayé aussi le mélange de 8 goudron et 92 azotate, chauffé pendant une heure à 65°. Les résultats de détonation ont été, dans les mêmes conditions, meilleurs qu'avec le mélange précédent.

Dans le grisou, deux expériences faites avec des cartouches de 200^{gr} ont donné dans la chaudière des pressions de 0,58 et 0,60 sans allumer le gaz; une troisième expérience l'a allumé.

Mélanges d'huiles lourdes de goudron avec l'azotate d'ammoniaque. — On a essayé le mélange de 10 d'huiles lourdes et 90 d'azotate.

Comme pour le mélange 8 goudron et 92 azotate séché une heure à 65°, la décomposition, même dans le tube d'étain de 25 sur 40, ne paraît correspondre qu'à la décomposition de l'azotate d'ammoniaque.

Dans le grisou, deux cartouches de 200^{gr} ont détoné, en produisant des pressions insignifiantes et sans allumer le gaz.

Mélanges de colophane et d'azotate d'ammoniaque. — Le mélange de 10 pour 100 de colophane et d'azotate d'ammoniaque

détone mal à l'air libre, mais il paraît détoner assez bien dans des tubes métalliques. Dans le grisou, il a donné les résultats suivants :

CARTOUCHES DE	
50gr	200gr.
1 exp. N.	2 exp. N.

Mélanges de picrate d'ammoniaque et d'azotate d'ammoniaque. — Le picrate d'ammoniaque ($C^6H^6Az^4O^7 = 246^{gr}$) peut être supposé se décomposer suivant la formule

$$6CO + H^2O + 2H^2 + 2Az^2,$$

il dégage alors $137^{cal},8$ (eau gazeuse) à volume constant, pour 246^{gr}, soit 560^{cal} par kilogramme.

Son aptitude à la détonation est médiocre, car nous n'avons pu le faire détoner à l'air libre, et il ne détone que très incomplètement dans des tubes d'étain de 25 sur 40.

La combustion complète exige le mélange de 27,7 picrate avec 72,3 azotate d'ammoniaque. Ce mélange ne détone que très incomplètement à l'air libre. (Voir le tableau de la p. 481.)

Nous avons essayé dans le mélange d'air et de grisou deux mélanges, l'un contenant 10 de picrate et 90 d'azotate, l'autre contenant 20 de picrate et 80 d'azotate. Les résultats ont été les suivants :

CARTOUCHES DE 200gr.	
10 picr. 90 azot.	2 exp. N. (*Détonation très incomplète.*)
20 picr. 80 azot.	1 exp. I.

Ces mélanges ont d'ailleurs un très faible intérêt pratique, car ils seraient d'un prix relativement élevé et n'auraient d'avantages ni au point de vue de la force explosive, ni au point de vue de l'aptitude à la détonation.

Mélanges d'azotate de cuivre ammoniacal et d'azotate d'ammoniaque. — On connaît, sous le nom d'azotate de cuivre ammoniacal ou d'azotate cupro-ammonique, un sel qui répond à la formule

$$Az^2O^6CuO,\ 4AzH^3 = 256^{gr},5,$$

et qu'on obtient aisément en beaux cristaux bleu indigo, lorsqu'on évapore à sec une dissolution d'azotate de cuivre saturée par l'ammoniaque. Sous l'action de la chaleur ce sel fond d'abord, puis, au bout d'un certain temps, déflagre en fusant sans produire une détonation proprement dite.

On a étudié les propriétés détonantes de ce composé, soit seul, soit mélangé avec l'azotate d'ammoniaque. Il a été constaté que le sel, soit pur, soit mélangé à 5 sur 3 de son poids d'azotate d'ammoniaque, détone franchement sous l'influence d'une amorce au fulminate de mercure.

La densité du sel est égale à 1,87.

Il détone très faiblement sous le marteau.

La chaleur de dissolution dans l'eau est négative et égale à $60^{cal},6$ pour 1^{kg} soit $15^{cal},48$ pour le double poids équivalent 255,5.

La chaleur de dissolution dans l'acide azotique étendu de $2^{cal},2$ est de 53^{cal} par kilogramme, soit 13^{cal}, 54 pour le double poids équivalent.

De cette dernière donnée, combinée avec celles qui sont inscrites dans les tableaux donnés par M. Berthelot (*Annuaire du Bureau des Longitudes,* 1888), on déduit aisément la chaleur de décomposition du sel en ses éléments gazeux, CuO étant supposé inaltéré. On a, en effet :

Chaleur de formation.	$4(Az + H^3)$ dissous	84
Id.	$(Az^2 + O^5)$ dissous	28,6
Id.	$(CuO + Az^2O^5)$	15,0
Id.	$(Az^2O^5 + 4AzH^3)$	50,0
		177,6
Chaleur de dissolution dans l'acide azotique étendu		13,5
Chaleur de formation $(Az^6 + H^{12} + O^6 + CuO)$		164,1

Dans ce nombre, combiné avec celui de la chaleur de dissolu-

tion dans l'eau on tire

$$Az^2O^5CuO \text{ diss.} + 4AzH^3 \text{ diss.} \ldots\ldots = 20^{cal},77.$$

$$Az^2O^5CuO + 6H^2O \text{ solide} + 4AzH^3 \text{ gazeux} = Az^2O^5CuO, 4AzH^3 \text{ solide} + 6H^2 \text{ solide dégage} \ldots = 69^{cal},28.$$

Les produits de la décomposition n'ont pas été étudiés. Le mode de décomposition qui dégagerait le maximum de chaleur correspondrait à la formule

$$Az^2O^5, CuO, 4AzH^3 = 3Az^2 + H^2 + 5H^2O + CuO,$$

en admettant que CuO reste inaltéré, et dégagerait $131^{cal},8$ (volume constant, eau gazeuse) pour $255^{gr},5$, soit 516^{cal} par kilogramme.

Lorsque le sel détone à l'air libre, on observe la production d'abondantes fumées blanches d'azotate d'ammoniaque et des vapeurs nitreuses. Le mode de décomposition qui se produit alors ne peut être connu avec certitude.

La combustion complète par l'azotate d'ammoniaque se fait suivant l'expression

$$Az^2O^5, CuO, 4AzH^3 + \tfrac{1}{2}(Az^2O^5, Az^2H^3O) = 4Az^2 + 8H^2O + CuO.$$

La proportion des deux sels mélangés est donc alors

0,76 sel de cuivre pour 0,24 sel d'ammoniaque.

La quantité de chaleur dégagée par la combustion est $655^{cal},5$ par kilogramme. En suivant la marche ordinaire, et tenant compte de la chaleur spécifique de l'oxyde de cuivre, qui est 11,22 pour CuO = 70, on trouve aisément les nombres suivants :

$$Q_k = 655,5, \qquad t = 1,750°, \qquad f = 6,090, \qquad \alpha = 0,796.$$

La température de détonation étant relativement basse, la Commission a pensé que ce mélange, soit seul, soit additionné d'azotate d'ammoniaque, pourrait constituer un explosif intéressant au point de vue de la sécurité des mines à grisou.

On a fait d'abord, dans la chaudière close et remplie d'air, les essais calorimétriques de détonation qui suivent :

	POIDS de la cartouche.	NATURE de l'enveloppe.	PRESSION en m. d'eau.	Q déduit pour 100gr observé	Q déduit pour 100gr brisé	
Azot. cupr. amm.....	50	Papier	0,16	19	53(1)	Sel bien sec.
id.	id.	Sn 25 sur 31	0,225	34	»	id.
id.	id.	Sn 25 sur 40	0,21	38	»	id.
id.	id.	id.	0,19	34	»	Sel un peu humide.
75 azot. cupr. am. 25 az. am.	id.	Papier	0,21	25	67	id.
id.	id.	Sn 25 sur 40	0,29	52	»	id.
33 azot. cupr. am. 67 az. am.	id.	Papier	0,00		51	id.
id.	12,5	id.	0,03	»	»	Sel bien sec.
id.	50,0	Sn 25 sur 40	0,21	39	»	Sel un peu humide.
20 azot. cupr. am. 80 az. am.	50	Sn 25 sur 50	0,16	29	46	id.
id.	id.	id.	0,11	20	»	Matière sèche fondue et grenée.
id.	id.	id.	0,10	18	»	Matière sèche fondue et grenée à grains plus fins.
id.	id.	id.	0,19	34	»	Mélange de substances pulv. bien sèches.
id.	id.	id.	0,11	20	»	Mélange de substances comprimées à 15atm.
10 azot. cupr. am. 90 az. am.	id.	id.	0,16	29	42	Sel un peu humide.

(1) Calculé comme les nombres suivants en supposant la décomposition complète, avec réaction mutuelle des gaz produits.

La détonation à l'air libre du sel pur, quoique ne laissant aucun résidu, comme on s'en est assuré directement, donne une quantité de chaleur beaucoup moindre que celle qui correspondrait à la détonation complète. Il se produit donc une réaction différente, ce qui est d'accord avec les fumées blanches et nitreuses signalées plus haut.

La détonation à l'air libre des mélanges avec l'azotate d'ammoniaque est aussi très incomplète, et devient même à peu près nulle lorsque la proportion de l'azotate d'ammoniaque atteint le double de celle du sel cuprique.

Dans les tubes d'étain, la décomposition est encore incomplète; depuis le sel pur jusqu'au mélange 10 sel 90 az. amm., la quantité de chaleur dégagée reste à peu près égale aux trois quarts de la quantité théorique. Il est à penser que, dans un trou de mine, la décomposition sera bien complète.

La fusion, de même que la compression, met obstacle à la détonation.

On s'est assuré que ces mélanges exigent, pour détoner, des capsules contenant au moins $1^{gr},5$ de fulminate.

Dans un trou de 1^{m} de profondeur, foré à Sevran au milieu d'une terre argileuse, une cartouche de 200^{gr} du mélange à combustion complète a donné une chambre de compression dont les dimensions principales ont été :

$$0^{m},60,\quad 0^{m},45,\quad 0^{m},45.$$

Dans les mêmes conditions, une cartouche de 200^{gr} du mélange 33 az. cupr. amm. 66 azot. a donné une chambre de

$$0^{m},30,\quad 0^{m},30,\quad 0^{m},30.$$

Les essais faits dans le *grisou* ont donné les résultats suivants :

	POIDS DE LA CARTOUCHE			
	100^{gr}.		200^{gr}.	
	Pression.	Résultat.	Pression.	Résultat.
Azotate de cuivre amm.....	18	N	»	I
75 azot. cupr. amm. 25 azot. amm.	30	N	36	N
			30	N
			60	N
33 azot. cupr. amm. 66 azot. amm.	»	»	24	N
			12	N
20 » 80 »	»	»	4	N
10 » 90 »	0	N		

Une cartouche de 100^{gr} du mélange 20 sel 80 az. amm. a détoné, dans un tube d'étain de 25 sur 31, en donnant une pression de 22^{cm} sans allumer le grisou.

Les essais ont donc été pleinement satisfaisants, avec détonations franches, dans le *grisou,* pour les mélanges, même les plus détonants, de sel cuivreux et d'azotate d'ammoniaque.

On a alors fait des essais dans le mélange d'air et de *gaz d'éclairage,* tenant 10,3 pour 100 de ce gaz. Les résultats ont été les suivants :

	POIDS DES CARTOUCHES, ETC.					
	62gr.		100gr.		200gr.	
	Pression.	Résultat.	Pression.	Résultat.	Pression.	Résultat.
Azotate de cuivre amm....	»	»	»	I	»	»
75 az. cupr. am. 25 az. amm.	»	»	12	N	»	»
id.	»	»	18	N	»	»
33 » 66 »	0	N(1)	»	»	»	I
id.	»	I(2)	»	»	»	»
20 » 80 »	»	»	4	N	16	N
id.	»	»	4	N	»	»

(1) Explosif placé dans un étui mince en laiton, que ferme un couvercle portant une douille pour le logement de la capsule.

(2) Explosif placé dans un étui mince en laiton dépourvu de son couvercle.

Le mélange 75 sur 25 n'a pas allumé le gaz d'éclairage avec des cartouches de 100gr.

Le mélange 33 sur 66 a allumé avec une cartouche de 200gr et avec une cartouche de 62gr placée dans un étui en laiton ouvert par le haut. On a observé le fait singulier que l'inflammation du mélange gazeux se produisait seulement 1 à 2 secondes après la détonation de la cartouche.

Le mélange 20 sur 80 n'a allumé ni avec des cartouches de 100gr, ni avec une cartouche de 200gr.

Si l'on se rappelle que ces dernières expériences étaient faites dans un mélange gazeux notablement plus inflammable que les mélanges grisouteux, et que les expériences faites dans le grisou n'ont pas donné d'inflammation, même avec les mélanges 75 sur

25 et des cartouches de 200^{gr}, il semble que l'on doive considérer le mélange d'azotate d'ammoniaque et d'azotate cupro-ammonique comme présentant des garanties de sécurité très satisfaisantes, dès que la proportion d'azotate d'ammoniaque atteint 25 pour 100.

Le mélange contenant 80 pour 100 d'azotate d'ammoniaque, qui s'est montré sûr, même dans le gaz d'éclairage avec deux cartouches de 200^{gr}, détone à une température de 1300° et possède un f égal à 5500^{gr} environ.

Les essais de détonation faits dans la bombe par M. Vieille ont donné les résultats suivants :

	DENSITÉ de chargement Δ.	PRESSION observée.	PRESSION théorique.
Azotate cupro-ammonique pur et sec..	0,2	1,402	1,355(1)
	0,3	2,221	2,240
Azotate cupro-ammon. et azot. ammon. (mélange à combustion complète)...	0,2	1,455 1,490	1,450
	0,3	2,346 2,290	2,400
20 azotate cupro-amm., 80 azot. amm.	0,2	1,190	1,340
	0,3	2,143	2,260

(1) On admet que la décomposition se fait suivant la formule $3\,Az^2 + 6\,H^2O = Cu$.

La combustion est toujours assez lente pour que les écrasements soient statiques.

L'allumage a été fait par l'intermédiaire d'une amorce de 1^{gr} de poudre extra-fine; pour en tenir compte, on a retranché des nombres observés 150^{kg} pour $\Delta = 0,2$ et 200^{kg} pour $\Delta = 0,3$.

Conclusions.

Les faits nouveaux que l'on vient d'exposer, confirmant les conclusions du premier rapport, permettent de les préciser et de les compléter.

On sait que la température normale d'inflammation des mé-

langes grisouteux est de 50°, mais qu'il est nécessaire que l'action de cette température soit prolongée pendant un temps assez notable pour que l'inflammation se produise.

Les nouvelles expériences, d'accord avec les anciennes, montrent que, grâce à ce retard à l'inflammation qui est caractéristique des mélanges grisouteux, grâce aussi au mélange presque instantané des gaz provenant de la détonation avec l'air ambiant et au refroidissement brusque qui en est la conséquence, les explosifs, dont la température de détonation est inférieure à 2.200° environ, sont incapables d'enflammer les mélanges grisouteux, lorsqu'ils détonent dans les conditions normales de leur emploi, c'est-à-dire dans des trous convenablement bourrés. Le bourrage, fait avec soin, doit toujours être rigoureusement prescrit comme une des conditions les plus essentielles de la sécurité.

Les garanties de sécurité vont en diminuant, toutes choses égales, à mesure que le bourrage devient plus imparfait. A la limite, et lorsque la cartouche détone sans enveloppe, à l'air libre, les conditions de sécurité ne peuvent plus être formulées avec la même netteté.

La sécurité serait sans doute encore complètement assurée si l'explosif pouvait être constitué par une substance unique, dont la détonation développerait une température suffisamment basse et ne donnerait que des produits incombustibles. Malheureusement, l'azotate d'ammoniaque est, jusqu'à présent, la seule substance connue qui réalise ces conditions, et l'aptitude à la détonation en paraît insuffisante.

On est donc forcé de recourir à des mélanges au moins binaires et qui, quelles que soient les précautions prises, ne sont jamais absolument intimes. Or, si l'une des substances mélangées est combustible ou, en détonant isolément, est susceptible soit de développer une température supérieure à 2.200°, soit de donner des produits gazeux combustibles, on peut toujours craindre qu'une parcelle de cette substance, placée à la surface de la cartouche, vienne, au moment de la détonation, allumer le gaz extérieur. Telle est, sans doute, la cause des irrégularités qui se produisent dans l'allumage du grisou par la détonation de semblables mélanges à l'air libre.

Ces allumages, en quelque sorte accidentels, sont d'autant plus

à redouter que la substance qui peut les produire est en plus forte proportion, que le mélange est moins intime, et que la surface, ou, ce qui revient à peu près au même, le poids de la cartouche est plus considérable.

Le seul moyen que l'on ait de parer à cette cause de danger. heureusement secondaire, c'est d'assurer le mieux possible l'intimité du mélange, et de diminuer, autant qu'on le peut faire sans trop abaisser l'aptitude à la détonation et la force de l'explosif, la proportion de la substance capable d'enflammer le gaz.

Il importe, en outre, de remarquer que la sécurité dans l'emploi des explosifs au sein d'une atmosphère grisouteuse repose, comme on l'a vu plus haut, sur le mélange presque instantané des gaz de la détonation avec une masse d'air ambiant suffisante. Il serait donc dangereux de tirer des coups de mine dans un espace trop limité et avec un poids d'explosif assez grand pour que le volume de l'air ambiant soit comparable à celui des gaz de la détonation.

Ces diverses considérations justifient la règle donnée par la commission dans son précédent rapport, et que nous croyons devoir rappeler textuellement :

« En raison de la complexité et du peu de fixité des phénomènes qui peuvent se produire dans la détonation à l'air libre, il sera toujours prudent d'éviter le tirage des coups de mine, même chargés avec un des explosifs considérés comme les plus sûrs, dans un point où le mélange d'air et de grisou est inflammable. Le choix de ces explosifs doit être considéré comme diminuant considérablement le danger de l'explosion, il ne doit pas être considéré comme le supprimant absolument. »

Les mélanges binaires auxquels, dans l'état actuel de nos connaissances, on peut recourir pour constituer des explosifs propres à assurer la sécurité des mines à grisou, contiennent nécessairement l'azotate d'ammoniaque comme un de leurs éléments et peuvent se partager en deux catégories :

I. On peut mélanger à l'azotate d'ammoniaque une substance détonant à haute température, mais donnant des produits incombustibles, la nitroglycérine par exemple. La sécurité paraît convenablement assurée lorsque, la nitroglycérine étant employée à l'état de dynamite, la proportion de dynamite ne dépasse pas 30 pour 100. Deux cartouches de 200^{gr} contenant 30 dyn., 70 azot.

ont détoné très franchement à l'air libre dans un mélange grisouteux sans l'allumer. Des cartouches de 50, 100, 200^{gr} du mélange contenant 20 dyn., 80 azot. n'ont pas produit l'inflammation du grisou. Une cartouche de 50^{gr} du même explosif a même pu détoner à l'air libre dans un mélange d'air et de gaz d'éclairage sans l'allumer.

II. On peut aussi mélanger à l'azotate d'ammoniaque une substance combustible par elle-même ou donnant, en détonant, des produits combustibles.

Les mélanges de cette nature doivent satisfaire aux conditions suivantes :

Développer une température de détonation aussi basse que possible et, en tous cas, inférieure à 2.200°;

Ne pas donner de gaz combustibles après la détonation complète;

Posséder une force explosive suffisante pour qu'on ne soit pas conduit à employer des poids d'explosifs trop considérables;

Présenter une aptitude à la détonation assez grande, au moins dans un trou bourré, pour que la proportion des coups ratés soit insignifiante;

Pouvoir être préservés, pendant un temps suffisamment long, contre toute altération;

Enfin, pouvoir être livrés à l'industrie à un prix qui ne soit pas trop élevé.

Parmi les nombreux mélanges à base d'azotate d'ammoniaque remplissant plus ou moins complètement toutes ces conditions, et que la commission a expérimentés, ceux qui semblent devoir être cités de préférence sont les suivants :

1° Les mélanges contenant au plus 75 pour 100 d'azotate cuproammoniaque; celui qui réalise ce maximum n'a, en détonant à l'air libre, enflammé ni le grisou avec des cartouches de 200^{gr} (3 expériences), ni le gaz d'éclairage avec des cartouches de 100^{gr} (2 expériences);

2° Le mélange contenant 6 pour 100 de naphtaline qui, détonant à l'air libre, n'a provoqué l'inflammation ni du grisou avec des cartouches de 200^{gr} (2 expériences), ni du gaz d'éclairage avec des cartouches de 50^{gr} (2 expériences), et qui n'a enflammé ce dernier gaz qu'avec des cartouches de 200^{gr};

3° Le mélange tenant 15 pour 100 de coton octonitrique qui, détonant à l'air libre, n'a pas enflammé le grisou avec des cartouches de 200^{gr} (2 expériences);

4° Le mélange tenant 10 pour 100 de mononitronaphtaline qui, détonant à l'air libre, n'a, sur 5 expériences faites avec des cartouches de 60^{gr}, 100^{gr} et 200^{gr}, allumé qu'une fois le grisou avec une cartouche de 60^{gr};

5° Le mélange tenant 10 pour 100 de binitrobenzine qui, détonant à l'air libre, n'a pas allumé le grisou avec des cartouches de 100^{gr} (4 expériences), et, avec des cartouches de 200^{gr}, ne l'a allumé qu'une fois sur 3 expériences.

Des essais pratiques faits dans les mines, et qui se poursuivent actuellement, permettront seuls aux exploitants de faire un choix entre les divers explosifs dont nous venons d'indiquer le principe.

Paris, 8 novembre 1888.

TABLEAU RÉSUMÉ

DES EXPÉRIENCES FAITES A LA POUDRERIE DE SEVRAN-LIVRY

DE JUIN A OCTOBRE 1888.

A. — Expériences faites au milieu de gaz combustibles.

DATES.	COMPOSITION de l'explosif. (1)	POIDS de la cartouche.	POIDS du fulminate.	P. (2)	RÉSULTAT de l'expérience (3)	OBSERVATIONS.
I. — GAZ COMBUSTIBLE TENANT 0,103 DE FORMÈNE ET 0,897 D'AIR EN VOLUMES.						
				1° Amorces.		
		gr	gr			
9 VII....	3 am. renforcées à 1g,5 de fulminate.	»	»	»	N	Une seule amorce fermée par le bouchon qui porte le fil électrique.
6 VIII, 2	Amorce du génie.	»	»	»	I	
				2° Mélanges de DYNAMITE *et d'azotate d'ammoniaque.*		
30 VI, 1..	10 dynam., 90 azot.	50	1,5	10	N	
30 VI, 2..	20 dynam., 80 azot.	50	Id.	»	N	
9 VII, 1..	Id.	Id.	Id.	»	N	
28 VII, 1..	Id.	100	Id.	15	N	
28 VII, 2..	Id.	Id.	Id.	34	N	
30 VII, 1..	Id.	Id.	Id.	28	N	
11 VIII, 2.	Id.	200	Id.	45	N	
11 VIII, 3.	Id.	Id.	Id.	44	N	
23 VII, 1.	30 dynam., 70 azot.	50	Id.	22	N	
23 VII, 2.	Id.	100	Id.	62	N	
25 VII, 1..	Id.	100	Id.	40	N	
11 VIII, 2.	Id.	200	Id.	62	N	
Id.. .	Id.	Id.	Id.	100	N	

(1) La cartouche est nue ou simplement enveloppée de papier, et l'explosif est pulvérulent, lorsque le contraire n'est pas expressément indiqué.

(2) P, *pression développée dans la chaudière après la détonation de la cartouche*, lorsque le gaz combustible n'a pas été enflammé. — Cette pression, exprimée en centimètres d'eau, est observée 15s environ après la détonation; l'observation n'est qu'approximative et a seulement pour but de donner une idée de la détonation plus ou moins complète de l'explosif.

(3) I indique que le gaz combustible s'est enflammé; — N indique qu'il n'y a pas eu inflammation du gaz.

DATES.	COMPOSITION de l'explosif.	POIDS de la cartouche.	POIDS du fulminate.	P.	RESULTAT de l'expérience.	OBSERVATIONS.
	2° *Mélanges de* DYNAMITE *et d'azotate d'ammoniaque* (suite).					
28 VII, 1..	40 dynam., 60 azot.	50 gr	1,5 gr	»	N	
28 VII, 2..	Id.	Id.	Id.	30	N	
25 VII, 1..	Id.	100	Id.	»	I	
9 VII, 1..	50 dynam., 50 azot.	50	Id.	44	N	
28 VII, 1..	Id.	Id.	Id.	»	N	
30 VI, 1..	Id.	Id.	Id.	»	I	
Id....	Id.	Id.	Id.	»	I	
11 VII, 2..	Id.	100	Id.	»	I	
28 VII, 1.	60 dynam., 40 azot.	50	Id.	48	N	
6 VIII, 1.	80 dynam., 20 azot.	100	Id.	»	I	
25 X, 9...	100 dynam., 0 azot.	50	Id.	»	I	Tube Sn 25 sur 31.
	3° *Mélanges de* COTON OCTONITRIQUE *et d'azotate d'ammoniaque.*					
11 VIII, 2.	15 coton, 85 azotate.	200	1,5	60	N	
11 VIII, 3.	Id.	Id.	Id.	100	N	
23 VII, 1..	20 coton, 80 azotate.	50	Id.	30	N	
23 VII, 2..	Id.	100	Id.	50	N	
25 VII, 1..	Id.	Id.	Id.	28	N	
30 VII, 3..	Id.	Id,	Id.	»	N	
Id....	Id.	Id.	Id.	44	N	
Id....	Id.	Id.	Id.	40	N	
6 VIII, 3.	Id.	Id.	Id.	52	N	
30 VII, 2..	Id.	Id.	Id.	»	I	
11 VIII, 2.	Id.	200	Id.	»	I	
11 VIII, 3.	Id.	Id.	Id.	»	I	
11 VII, 2..	30 coton, 70 azotate.	30	Id.	4	N	
23 VII, 2..	Id.	100	Id.	62	N	
25 VII, 2..	40 coton, 60 azotate.	100	Id.	»	I	
27 VI, 2 ..	60 coton, 40 azotate.	30	Id.	»	I	
9 VII, 1..	100 coton, 0 azotate.	30	Id.	18	N	
9 VII, 2..	Id.	Id.	Id.	Id.	N	
11 VII, 2..	Id.	Id.	Id.	»	I	
	4° *Mélanges de* COTON ENNÉANITRIQUE (*coton de mine*) *et d'azotate d'ammoniaque.*					
6 VIII, 3.	15 coton, 85 azotate.	100	1,5	50	N	
6 VIII, 1.	Id.	Id.	Id.	»	I	

DATES.	COMPOSITION de l'explosif.	POIDS de la cartouche	POIDS du fulminate.	P.	RÉSULTAT de l'expérience.	OBSERVATIONS.
	5° *Mélanges de* NAPHTALINE MONONITRÉE *et d'azotate d'ammoniaque.*					
		gr	gr			
11 VII, 1..	9 napht. mononitr., 91 azotate.	30	1,5	6	N	Matière pulvérulente.
9 VII, 1..	Id.	50	Id.	22	N	Id.
9 VII, 2 .	Id.	Id.	Id.	26	N	Id.
Id....	Id.	Id.	3×1,5	Id.	N	Id.
25 VII, 2..	Id.	100	1,5	0	N	Id.
30 VII, 2..	Id.	Id.	Id.	0	N	Id.
	6° *Mélanges de* NAPHTALINE *et d'azotate d'ammoniaque.*					
15 IX, 1 ..	6 naphtal., 94 azot.	100	1,5	4	N	
Id....	Id.	200	Id.	7	N	
Id...	Id.	Id.	3×1,5	10	N	
Id....	Id.	118	1.5	16	N	Dans tube Su [illegible] sur 31mm.
Id....	Id.	75	Id	20	N	
	7° *Mélanges de* BINITROBENZINE *et d'azotate d'ammoniaque.*					
2 VII, 2..	10 binitr., 90 azotate.	100	1,5	44	N	
6 VIII, 3.	Id.	Id.	Id.	32	N	
Id....	Id.	Id.	Id.	32	N	
Id....	Id.	Id.	Id.	32	N	
11 VIII, 1.	Id.	200	Id.	0	N	
11 VIII, 3.	Id.	Id.	Id.	50	N	
11 VIII, 1	Id.	Id.	Id.	»	I	
9 VII, 1..	15 binitr., 85 azotate (bellite).	40	Id.	24	N	
27 VI, 2..	Id.	50	Id.	»	N	
9 VII, 2..	Id.	Id.	Id.	20	N	
30 VII. 2.	Id.	100	Id.	52	N	
30 VII, 1.	Id.	Id.	Id.	»	I	
30 VI, 2 ..	10 binitr., 80 azotate.	50	Id.	»	N	
25 VII, 1..	Id.	100	Id.	50	N	
	8° *Mélanges de* PICRATE D'AMMONIAQUE *et d'azotate d'ammoniaque.*					
8 X, 1...	10 picrate, 90 azot.	200	1,5	18	N	
Id....	Id.	Id.	Id.	17	N	
Id....	20 picrate, 80 azot.	Id.	Id.	»	I	

DATES.	COMPOSITION de l'explosif.	POIDS de la cartouche.	POIDS du fulminate.	P.	RÉSULTAT de l'expérience.	OBSERVATIONS.
	9° *Mélanges de* COLOPHANE *et d'azotate d'ammoniaque.*					
		gr	gr			
10 X, 1...	10 coloph., 90 azotate.	200	1,5	9	N	
10 X, 2...	Id.	Id.	Id.	Id.	N	
Id....	Id.	Id.	Id.	5	N	
	10° *Mélanges de* GOUDRON DE HOUILLE *et d'azotate d'ammoniaque.*					
10 X, 1...	12 goudron, 88 azot	200	1,5	10	N	Mélange non chauffé.
Id....	Id.	Id.	Id.	50	N	Id.
8 X, 2...	Id.	Id.	Id.	»	I	Id.
10 X, 1...	Id.	Id.	Id.	6	N	Mélange chauffé 2h à 65°.
Id....	Id.	Id.	Id.	Id.	N	Id.
Id....	8 goudron, 92 azot.	Id.	Id.	60	N	Mélange chauffé 1h à 65°.
Id....	Id.	Id.	Id.	58	N	Id.
Id....	Id.	Id.	Id.	»	I	Id.
	11° *Mélanges d'*HUILES LOURDES DE HOUILLE *avec l'azotate d'ammoniaque.*					
8 X, 2...	10 huile, 90 azotate.	200	1,5	0	N	
Id....	Id.	Id.	Id.	Id.	N	
	12° *Mélanges d'*AZOTATE CUPRO-AMMONIQUE *et d'azotate d'ammoniaque.*					
25 X, 1...	10 az. cupr., 90 az. am.	100	1,5	0	N	
25 X, 2...	20 az. cupr., 80 az. am.	200	Id.	4	N	
25 X, 3...	Id.	100	Id.	22	N	Tube Sn 25 sur 31.
25 X, 4...	33 az. cupr.. 66 az. am.	200	Id.	24	N	
25 X, 5...	75 az. cupr., 25 az. am.	100	Id.	30	N	
25 X, 6...	Id.	200	Id.	Id.	N	
25 X, 7..	Id.	Id.	Id.	36	N	
25 X, 8...	100 az. cupr., 0 az. am.	100	Id.	18	N	
	II. — GAZ COMBUSTIBLES TENANT 0,103 DE GAZ D'ÉCLAIRAGE ET 0,897 D'AIR EN VOLUMES.					
	1° DYNAMITE *et azotate d'ammoniaque.*					
27 VII, 2..	20 dynam.. 80 azot.	50	1,5	22	N	
27 VII, 1..	60 dynam., 40 azot.	Id.	Id.	34	N	Tube Pb 30 sur 35.
27 VII, 2..	70 dynam., 30 azot.	Id.	Id.	»	N	Id.

DATES.	COMPOSITION de l'explosif.	POIDS de la cartouche.	POIDS du fulminate.	P.	RÉSULTAT de l'expérience.	OBSERVATIONS.
	1° DYNAMITE *et azotate d'ammoniaque* (suite).					
27 VII, 2..	80 dynam., 20 azot.	50 gr	1,5 gr	32	N	Tube Pb 30 sur 35.
27 VII, 1..	60 dynam., 40 azot.	Id.	Id.	28	N	Tube Sn 25 sur 30.
Id....	70 dynam., 30 azot.	Id.	Id.	36	N	Id.
Id....	80 dynam., 20 azot.	Id.	Id.	32	N	Id.
Id....	90 dynam., 10 azot.	Id.	Id.	50	N	Id.
4 V, 1...	100 dynam., 0 azot.	Id.	Id.	»	I	Id.
27 VII, 1..	Id.	Id.	Id.	»	I	Id.
	2° COTON OCTONITRIQUE *et azotate d'ammoniaque.*					
27 VII, 2..	20 coton, 80 azotate.	50	1,5	»	I	
27 VII, 1..	10 coton, 90 azotate.	Id.	Id.	22	N	Tube Sn 25 sur 30.
Id....	20 coton, 80 azotate.	Id.	Id.	28	N	Id.
Id. ..	30 coton, 70 azotate.	Id.	Id.	32	N	Id.
27 VII, 2..	30 coton, 70 azotate.	Id.	Id.	26	N	Tube Pb 30 sur 35.
	3° NAPHTALINE *et azotate d'ammoniaque.*					
30 X, 3...	6 napht., 94 az. am.	50	1,5	3	N	
Id....	Id.	Id.	Id.	Id.	N	
27 X, 1...	Id.	200	Id.	Id.	I	
d....	Id.	50	Id.	14	N	Tube Sn 25 sur 30.
	4° AZOTATE CUPRO-AMMONIQUE *et azotate d'ammoniaque.*					
30 X, 2...	20 az. cupr., 80 az. am.	100	1,5	4	N	
Id....	Id.	Id.	Id.	4	N	
30 X, 1...	Id.	200	Id.	16	N	
Id...	33 az. cupr., 67 az. am.	Id.	Id.	»	I (1)	
30 X, 2...	Id.	62	Id.	0	N	Étui mince en laiton, avec douille pour amorce.

(1) L'inflammation se produit environ 2" seulement après la détonation de la cartouche.

POIDS.	COMPOSITION de l'explosif.	POIDS de la cartouche.	POIDS du fulminate.	P.	RESULTAT de l'expérience.	OBSERVATIONS.
	4° AZOTATE CUPRO-AMMONIQUE *et azotate d'ammoniaque* (suite).					
		gr	gr			
30 x, 2...	33 az. cupr., 67 az. am.	62	1,5	»	I (1)	Étui mince en laiton, sans douille pour amorce.
30 x, 3...	75 az. cupr., 25 az. am.	100	Id.	12	N	
Id....	Id.	Id.	Id.	18	N	
Id....	100 az. cupr., 0 az. am.	Id.	Id.	»	I	
	5° *Explosifs divers.*					
4 v, 1...	50 dynamite, 50 pouss. de houille.	90	1,5	»	I	
4 v, 3...	Cot. ennéanitrique.	30	Id.	»	I	Tube Sn 25 sur 40.
4 v, 3...	Cordeau détonant au coton-poudre.	»	»	»	N	0m,70 de longueur.

(1) L'inflammation se produit 1s seulement après la détonation de la cartouche.

B. — Expériences de détonation dans la chaudière close et ne contenant que de l'air.

DATES.	COMPOSITION de l'explosif. (1)	NATURE de l'enveloppe de la cartouche. (2)	POIDS de la cartouche.	POIDS du fulminate.	PRESSION en centimètre d'eau. (3)	OBSERVATIONS.
		1° DYNAMITE *et azotate d'ammoniaque.*				
6 VIII, 2.	10 dynam., 80 azot.	Papier.	50 gr	1,5 gr	8	
11 VIII, 2.	20 dynam., 80 azot.	Étui laiton.	Id.	Id.	15	
6 VIII, 3.	Id.	Papier.	Id.	Id.	17	
9 VIII, 21.	Id.	Id.	Id.	4,0	25	
11 VIII, 12.	Id.	Sn 25 s. 31.	Id.	1,5	22	
9 VIII, 20.	Id.	Sn 25 s. 40.	Id.	0,5	23	
9 VIII, 19.	Id.	Id.	Id.	1,0	26	
6 VIII, 4.	30 dynam., 70 azot.	Papier.	Id.	1,5	30	
6 VIII, 5.	40 dynam., 60 azot.	Id.	Id.	Id.	45	
6 VIII, 6.	50 dynam., 50 azot.	Id.	Id.	Id.	53	
27 IX, 8..	60 dynam., 40 azot.	Étui laiton.	Id.	Id.	41	
27 IX, 8..	Id.	Id.	Id.	Id.	40	
27 IX, 6..	Id.	Sn 25 s. 31.	Id.	Id.	45	
27 IX, 7..	Id.	Sn 25 s. 40.	Id.	Id.	37	
24 IX, 6..	70 dynam., 30 azot.	Papier.	25	Id.	34	
24 IX, 7..	Id.	Sn 25 s. 31.	50	Id.	53	
24 IX, 8..	Id.	Sn 25 s. 40.	Id.	Id.	47	
24 IX, 9..	Id.	Sn 25 s. 45.	Id.	Id.	45	
27 IX, 2..	Id.	Étui laiton.	Id.	Id.	43	
24 IX, 3..	80 dynam., 20 azot.	Papier.	25	Id.	38	
24 IX, 4..	Id.	Sn 25 s. 31.	50	Id.	59	
24 IX, 5..	Id.	Sn 25 s. 40.	Id.	Id.	51	
24 IX, 1..	90 dynam., 10 azot.	Papier.	25	Id.	41	

(1) L'explosif est pulvérulent et tassé à la main, sauf indication contraire.

(2) Lorsque la cartouche est bourrée dans un tube métallique, étain (Sn) ou plomb (Pb), on donne les diamètres intérieur et extérieur du tube en millimètres.

(3) La pression initiale indiquée est déduite par une construction graphique de l'observation de la pression à des intervalles de temps connus après la détonation (*voir* le premier rapport).

DATES.	COMPOSITION de l'explosif.	NATURE de l'enveloppe de la cartouche	POIDS de la cartouche.	POIDS du fulminate.	PRESSION en centimètres d'eau.	OBSERVATIONS.
		1° DYNAMITE *et azotate d'ammoniaque* (suite).				
24 IX, 2..	90 dynam., 10 azot.	Sn 25 s. 40.	50 gr	1,5 gr	52	
27 IX, 9..	100 dynam., 0 azot.	Papier.	Id.	Id.	67	Amorce renforcée placée dans la douille d'amorçage de l'étui en laiton.
27 IX, 1..	Id.	Étui laiton.	Id.	Id.	58	
22 IX, 4..	Id.	Sn 25 s. 45.	Id.	Id.	44	
22 IX, 5..	Id.	Id.	Id.	Id.	48	
		2° COTON OCTONITRIQUE *et azotate d'ammoniaque.*				
31 VII, 9..	10 coton, 90 azotate.	Papier.	50	1,5	25	
31 VII, 10.	Id.	Sn 15 s. 40.	Id.	Id.	27	
9 VIII, 12.	15 coton, 85 azotate.	Papier.	Id.	Id.	16	
9 VIII, 14.	Id.	Id.	Id.	Id.	9	Comprimé à 25atm.
9 VIII, 11.	Id.	Sn 25 s. 40.	25	Id.	19	
9 VIII, 13.	Id.	Id.	Id.	Id.	15	Comprimé à 50atm.
21 VIII, 7..	Id.	Id.	Id.	1,0	14	
21 VIII, 6.	Id.	Id.	Id.	0,5	12	
31 VII, 7..	20 coton, 80 azotate.	Papier.	30	1,5	13	
11 VIII, 3.	Id.	Étui laiton.	50	Id.	30	
23 VII, 1..	Id.	Papier.	Id.	Id.	34	
25 VII, 1..	Id.	Id.	Id.	Id.	38	
25 VII, 2..	Id.	Id.	Id.	Id.	38	
9 VIII, 10.	Id.	Id.	25	Id.	19	
9 VIII, 22.	Id.	Id.	Id.	4,0	21	
11 VIII, 13.	Id.	Sn 25 s. 31.	50	1,5	34	
31 VII, 8..	Id.	Sn 25 s. 40.	30	Id.	21	
9 VIII, 10.	Id.	Id.	25	Id.	Id.	
9 VIII, 2.	Id.	Papier.	Id.	Id.	5,5	Comprimé à 100atm.
9 VIII, 4.	Id.	Id.	Id.	Id.	12,5	Id. 75
9 VIII, 6.	Id.	Id.	Id.	Id.	6	Id. 50
9 VIII, 8.	Id.	Id.	Id.	Id.	12	Id. 25
9 VIII, 1.	Id.	Sn 25 s. 40.	Id.	Id.	6,5	Comprimé à 100
9 VIII, 3.	Id.	Id.	Id.	Id.	4	Id. 75
9 VIII, 5.	Id.	Id.	Id.	Id.	11	Id. 50
24 IX, 10.	30 coton, 70 azotate.	Papier.	Id.	Id.	19	
24 IX, 11.	Id.	Sn 25 s. 31.	50	Id.	45	
24 IX, 12.	Id.	Sn 25 s. 40.	Id.	Id.	42	

DATES.	COMPOSITION de l'explosif.	NATURE de l'enveloppe de la cartouche.	POIDS de la cartouche.	POIDS du fulminate.	PRESSION en centimètres d'eau.	OBSERVATIONS.
			gr	gr		
	2° COTON OCTONITRIQUE *et azotate d'ammoniaque* (suite).					
31 VII, 5..	35 coton, 65 azotate.	Papier.	30	1,5	17	
31 VII, 6..	Id.	Sn 25 s. 40.	Id.	Id.	26	
31 VII, 5..	40 coton, 60 azotate.	Papier.	Id.	Id.	17	
31 VII, 6..	Id.	Sn 25 s. 40.	Id.	Id.	26	
31 VII, 1..	70 coton, 30 azotate.	Papier.	50	Id.	92	
31 VII, 2..	Id.	Sn 25 s. 40.	Id.	Id.	37	
21 VIII, 3.	90 coton, 10 azotate.	Sn 25 s. 31.	30	Id.	27	
9 VII. 1..	100 coton, 0 azotate.	Papier.	Id.	Id.	52	
21 VIII. 2.	Id.	Sn 25 s. 31.	50	Id.	39	
21 VIII, 1.	Id.	Sn 25 s. 40.	Id.	Id.	28	
	3° BINITROBENZINE *et azotate d'ammoniaque*.					
11 VIII, 4.	10 binitr., 90 azotate.	Étui laiton.	50	1,5	20	
9 VIII, 18.	Id.	Papier.	25	Id.	16	
9 VIII, 16.	Id.	Id.	Id.	Id.	6	Comprimé à 25^{atm}.
11 VIII, 11.	Id.	Sn 25 s. 31.	50	Id.	30	
9 VIII, 15	Id.	Sn 25 s. 40.	25	Id.	18	
21 VIII, 9.	Id.	Id.	Id.	1,0	12	
21 VIII, 8.	Id.	Id.	Id.	0,5	9	
9 VIII, 15,	Id.	Id.	Id.	1,5	11	Comprimé à 25^{atm}.
	4° NAPHTALINE MONONITRÉE *et azotate d'ammoniaque*.					
11 VII, 1..	9 napht. mononitr., 91 azotate (Favier).	Étui laiton.	50	1,5	27	
11 VII, 2..	Id.	Sn 25 s. 40.	Id.	Id.	40	
	5° NAPHTALINE *et azotate d'ammoniaque*.					
21 VIII, 5.	6 napht., 94 azotate.	Papier.	50	1,5	5,5	
30 X, 1...	Id.	Id.	Id.	Id.	5	
30 X, 2...	Id.	Id.	200	Id.	36	
18 IX, 7..	Id.	Sn 25 s. 31.	50	Id.	26	
21 VIII, 4.	Id.	Sn 25 s. 40.	Id.	Id.	38	
30 X, 3...	Id.	Id.	Id.	Id.	28	
22 IX, 2..	Id.	Sn 25 s. 45.	Id.	Id.	20	
22 IX, 3..	Id.	Id.	Id.	Id.	25	

DATES.	COMPOSITION de l'explosif.	NATURE de l'enveloppe de la cartouche.	POIDS de la cartouche.	POIDS du fulminate	PRESSION en centimètres d'eau.	OBSERVATIONS.
	5° NAPHTALINE *et azotate d'ammoniaque* (suite).					
27 IX, 3..	6 napht., 94 azotate.	Sn 25 s. 45.	50 gr	1,5 gr	29	
18 IX, 1..	10 napht., 90 azotate.	Papier.	Id.	Id.	5	
18 IX, 2..	Id.	Sn 25 s. 31.	Id.	Id.	28	
18 IX, 3..	Id.	Sn 25 s. 40.	Id.	Id.	29	
18 IX, 4..	20 napht., 80 azotate.	Papier.	Id.	Id.	0	
18 IX, 5..	Id.	Sn 25 s. 31.	Id.	Id.	0	
18 IX, 6..	Id.	Sn 25 s. 40.	Id.	Id.	3,5	
	6° PICRATE D'AMMONIAQUE *et azotate d'ammoniaque.*					
8 X, 25..	10 picrate, 90 azotate.	Papier.	50	1,5	0	
8 X, 26..	Id.	Sn 25 s. 31.	Id.	Id.	22	
8 X, 27..	Id.	Sn 25 s. 40.	Id.	Id.	22	
8 X, 22..	20 picrate, 80 azotate.	Papier.	Id.	Id.	22	
8 X, 23..	Id.	Sn 25 s. 31.	Id.	Id.	30	
8 X, 24..	Id.	Sn 25 s. 40.	Id.	Id.	31	
8 X, 19..	28 picrate, 72 azotate.	Papier.	Id.	Id.	16	
8 X, 20..	Id.	Sn 25 s. 31.	Id.	Id.	35	
8 X, 21..	Id.	Sn 25 s. 40.	Id.	Id.	31	
8 X, 16..	40 picrate, 60 azotate.	Papier.	Id.	Id.	19	
8 X, 17..	Id.	Sn 25 s. 31.	Id.	Id.	35	
8 X, 18..	Id.	Sn 25 s. 40.	Id.	Id.	36	
8 X, 13..	50 picrate, 50 azotate.	Papier.	Id.	Id.	14	
8 X, 14..	Id.	Sn 25 s. 31.	Id.	Id.	34	
8 X, 15..	Id.	Sn 25 s. 40.	Id.	Id.	30	
8 X, 10..	60 picrate, 40 azotate.	Papier.	Id.	Id.	14	
8 X, 11..	Id.	Sn 25 s. 31.	Id.	Id.	30	
8 X, 12..	Id.	Sn 25 s. 40.	Id.	Id.	27	
8 X, 7...	100 picrate, 0 azotate.	Papier.	Id.	Id.	0	
8 X, 8...	Id.	Sn 25 s. 31.	Id.	Id.	13	
8 X, 9...	Id.	Sn 25 s. 40.	Id.	Id.	16	
	7° HUILES LOURDES DE GOUDRON *et azotate d'ammoniaque.*					
8 X, 4...	10 huiles lourd., 90 az.	Papier.	50	1,5	0	
8 X, 29..	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	

DATES.	COMPOSITION de l'explosif.	NATURE de l'enveloppe de la cartouche.	POIDS de la cartouche.	POIDS du fulminate.	PRESSION en centimètres d'eau.	OBSERVATIONS.
	6° HUILES LOURDES DE GOUDRON *et azotate d'ammoniaque* (suite).					
8 x, 5...	10 huiles lourd., 90 az.	Sn 25 s. 31.	50 gr	1,5 gr	20	
x, 6...	Id.	Sn 25 s. 40.	Id.	Id.	21	
	8° GOUDRON DE HOUILLE *et azotate d'ammoniaque.*					
8 x, 1...	12 goudron, 88 azot.	Papier.	50	1,5	0	Le goudron n'a pas subi l'action de la chaleur.
8 x, 28.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.	
8 x, 2...	Id.	Sn 25 s. 31.	Id.	Id.	9	
8 x, 3...	Id.	Sn 25 s. 40.	Id.	Id.	12	
10 x, 3...	8 goudron, 92 azot.	Papier.	Id.	Id.	4	Séché 1 heure à 65°.
10 x, 5...	Id.	Sn 25 s. 31.	Id.	Id.	27	Id.
10 x, 6...	Id.	Sn 25 s. 40.	Id.	Id.	23	Id.
	9° AZOTATE CUPRO-AMMONIQUE *et azotate d'ammoniaque.*					
25 x, 5..	10 az. cupro-am., 90 az.	Sn 25 s. 40.	50	1,5	16	Sel cuprique un peu humide. — Tube Sn assez complètement brisé en regard de l'explosif.
25 x, 4...	20 az. cupro-am., 80 az.	Id.	Id.	Id.	Id.	Id.
30 x, 8...	Id.	Id.	Id.	Id.	11	Matière sèche, fondue et grenée.
30 x, 9...	Id.	Id.	Id.	Id.	10	Matière sèche, fondue et grenée, à grains plus fins.
30 x, 10..	Id.	Id.	Id.	Id.	16,5	Simple mélange des matières pulvérisées et sèches.
30 x. 11..	Id.	Id.	Id.	Id.	1	Id. comprimé à 15 atm.
25 x, 6...	33 az. cupro-am., 67 az.	Papier.	Id.	Id.	0	Sel cupr. un peu hum.
30 x, 7...	Id.	Id.	22,5	Id.	4	Sel cuprique bien sec.
25 x, 5...	Id.	Sn 25 s. 40.	50	Id.	20	Sel cuprique un peu humide. — Tube Sn complètement brisé en regard de l'explosif.
25 x, 4...	75 az. cupro-am., 25 az.	Papier.	Id.	Id.	22	Sel cupr. un peu hum.
25 x, 3...	Id.	Sn 25 s. 40.	Id.	Id.	28	Id. — Tube complètement brisé en regard de l'explosif.
25 x, 2...	100 az. cupro-am., 0 az.	Papier.	Id.	Id.	0	Sel un peu humide.

DATES	COMPOSITION de l'explosif.	NATURE de l'enveloppe de la cartouche.	POIDS de la cartouche.	POIDS du fulminate.	PRESSION en centimètres d'eau.	OBSERVATIONS.
			gr	gr		
	9° AZOTATE CUPRO-AMMONIQUE *et azotate d'ammoniaque* (suite).					
30 X, 4...	100 az. cupro-am., 0 az.	Papier.	50	1,5	16	Sel bien sec.
30 X, 5...	Id.	Sn 25 s. 31.	Id.	Id.	22,5	Id.
30 X, 1...	Id.	Sn 25 s. 40.	Id.	Id.	19	Sel un peu humide.
30 X, 6...	Id.	Id.	Id.	Id.	21	Sel bien sec.
	10° NITROMANNITE.					
22 IX, 6..	Nitromannite.	Papier.	27	1,5	44	Fortem. comprimée.
22 IX, 7..	Id.	Id.	25	Id.	62	Pulvérulente.
22 IX, 8..	Id.	Sn 25 s. 31.	Id.	Id.	42	Id.
22 IX, 9..	Id.	Id.	Id.	Id.	45	Id.
22 IX, 10.	Id.	Sn 25 s. 40.	Id.	Id.	49	Id.
27 IX, 4..	Id.	Id.	40	Id.	78	Id.
22 IX, 11.	Id.	Sn 25 s. 45.	25	Id.	53	Id.
	11° *Explosifs divers.*					
6 VIII, 1.	15 coton de mine, 85 azotate.	Papier.	50	1,5	37	
11 VII, 3..	Azotate d'ammon.	Sn 25 s. 40	Id.	Id.	2,5	
22 IX, 1 ..	Id.	Sn 25 s. 45.	Id.	Id.	14	
11 VIII, 10.	4 amorces renforcées de 1gr,5 chacune.	Sn 25 s. 40.	Id.	Id.	1,5	

EXPÉRIENCES

SUR LE

TIR DES FUSILS DE CHASSE,

Par M. le capitaine JOURNÉE,

Instructeur à l'École normale de tir du camp de Châlons.

CHAPITRE PREMIER.

RENSEIGNEMENTS SUR LES ARMES ET LES PLOMBS DE CHASSE.

I. — Calibre des fusils.

Le calibre des fusils de chasse se désigne par le nombre des balles sphériques en plomb qui est contenu dans une livre, ces balles étant du calibre du fusil. Ainsi calibre 16 signifie que les 16 balles sphériques du calibre du fusil pèsent une livre. Nous donnons ci-dessous la correspondance approximative des calibres, désignés suivant la façon habituelle et en millimètres. Selon les fabricants, le calibre de l'âme d'une arme désignée 16, 12,... est susceptible de varier d'environ $0^{mm},5$.

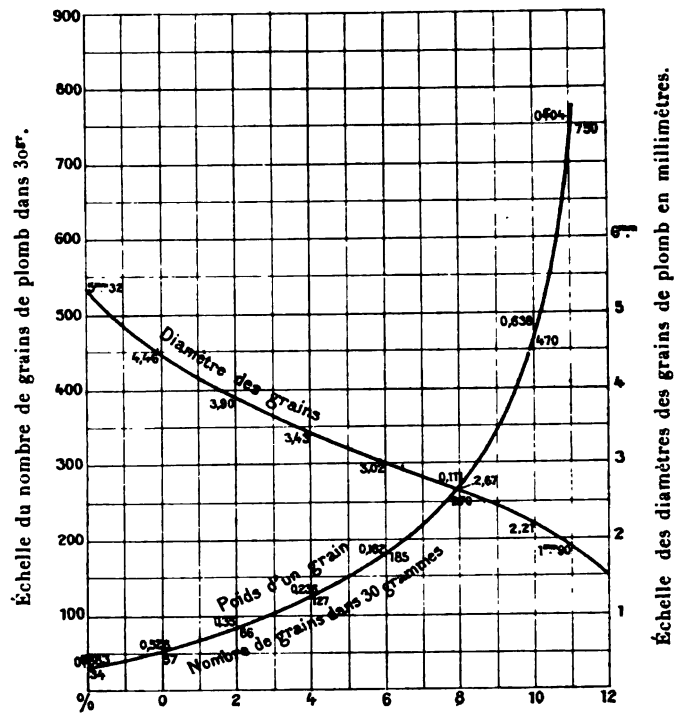
Désignation habituelle.	Calibre en millimètres.
32	13,0
28	14,2
24	15,0
20	15,9
16	17
14	17,6
12	18,4
10	19,4
8	21,2
4	26,0

II. — Échelle des numéros de plomb suivant la grosseur.

Les plombs de chasse sont désignés par des numéros conventionnels, qui sont d'autant plus grands que le diamètre du grain est plus petit. Il y a de notables différences entre la grosseur des grains de plomb portant même numéro, suivant leur provenance, Aussi, dans ce qui suit, adopterons-nous l'échelle conventionnelle donnée dans le diagramme ci-après, afin de définir d'une façon précise les plombs dont il a été fait usage.

Fig. 1. — Graphique A.

Nombre de grains; diamètre et poids du grain des plombs de chasse suivant leur numéro.



III. — Déformation des grains de plomb.

Avant le tir, une charge de plomb de chasse offre dans sa masse des vides dus à la forme sphérique des grains. Quand la poussée

des gaz se produit, l'inertie des grains situés à la partie antérieure a pour résultat d'entraîner l'écrasement des grains situés en arrière.

En s'écrasant, les grains remplissent les vides qui existaient dans leur masse. Chacun d'eux prend alors une forme polyédrique d'autant plus nette que le plomb se trouve plus à l'arrière de la charge, que la poussée des gaz est plus énergique et le plomb moins dur. On constate facilement ce fait en ramassant du plomb tiré à de grandes distances, dans des conditions telles que le choc, à l'arrivée, ne le déforme pas.

Le plomb durci par un alliage à l'étain, à l'antimoine, etc., s'écrase notablement moins que le plomb ordinaire à peu près pur.

CHAPITRE II.

VITESSE DES PLOMBS.

La pénétration des grains de plomb de grosseur donnée dépend de leur vitesse restante au moment du choc. La vitesse restante à une distance donnée est d'autant plus forte que la vitesse initiale est elle-même plus forte.

Pour pouvoir produire de l'effet le plus loin possible, il faut réaliser la vitesse initiale la plus forte possible. Dans ce qui suit, on recherchera quels sont les éléments qui sont susceptibles de faire varier la vitesse initiale et l'on déterminera les conditions du chargement qui assure la vitesse la plus forte qu'il est possible d'obtenir pratiquement, sans compromettre la solidité du fusil ou la sûreté de son fonctionnement.

I. — Méthode pour mesurer la vitesse du plomb de chasse.

La vitesse du plomb de chasse peut se mesurer avec une grande exactitude au moyen du chronographe Le Boulengé ; c'est au moyen de cet instrument qu'ont été mesurées la plupart des vitesses relatées ci-après. On a également employé, dans certains cas, un

chronographe à diapason, qui donne la même précision dans les mesures, mais dont l'emploi est moins simple que celui du chronographe Le Boulengé. Ces deux instruments ont fourni des résultats entièrement comparables.

Au moyen des chronographes, on mesure le temps mis par le plomb à parcourir un certain intervalle, compté habituellement à partir de la bouche. A cet effet, on place le fusil de telle sorte que le plomb, en sortant du canon, coupe un fil de cuivre dans lequel passe un courant électrique. Le coup est dirigé sur une plaque d'acier qui porte un ou plusieurs interrupteurs électriques qui fonctionnent dès que la plaque est frappée par un plomb.

Soit t la durée de trajet correspondant au parcours e, le quotient $\frac{e}{t}$ représente sensiblement la vitesse des plombs au milieu du parcours, quand e n'est pas supérieur à 20^{m}. Après de nombreux essais, la distance e qui a été trouvée la plus convenable est de 10^{m}. En opérant sur 10^{m}, le quotient $\frac{10}{t}$ donne la valeur de la vitesse qu'avait le plomb à 5^{m} de la bouche; cette vitesse est désignée V_5. En opérant sur 20^{m}, on aurait V_{10}, qui différerait très notablement de V_5, car les plombs perdent rapidement leur vitesse dans l'air.

En mesurant la vitesse à plusieurs distances, comme il sera expliqué chapitre III (*Vitesses restantes*), on peut calculer ou plus simplement déduire d'un tracé graphique la *vitesse initiale* qu'a le plomb quand il sort du canon. Cette vitesse est désignée V_0.

La plaque interruptrice, quand elle est bien disposée, fonctionne dès qu'un grain la frappe; elle indique donc non la vitesse moyenne des plombs, mais la vitesse du grain de plomb qui a la plus forte vitesse.

Dans les poudreries de Sevran-Livry et d'Esquerdes, il existe un appareil dû à MM. les ingénieurs des poudres et salpêtres Billardon et Dou, qui permet de mesurer la vitesse individuelle de chacun des grains d'une même charge. Cet appareil, qui est fondé sur un principe entièrement différent de celui des chronographes Le Boulengé et à diapason, est décrit dans le tome I^er^ du *Mémorial des poudres et salpêtres*. Cet instrument a l'inconvénient d'être d'un emploi fort compliqué.

Quand, avec les chronographes Le Boulengé et à diapason, on se sert de plaques interruptrices pour signaler l'arrivée du plomb,

il ne faut pas donner trop de sensibilité à la plaque et, par suite, ne pas employer de plaques trop minces. Dans le début des expériences, on avait craint que les plaques épaisses (25^{mm}) en acier habituellement employées pour signaler les balles n'eussent un retard de fonctionnement dû à leur inertie; on a, en conséquence, expérimenté des plaques de tôle de différentes épaisseurs, dont la plus mince avait $0^{mm},8$. On a reconnu que des plaques minces et trop vibrantes ne convenaient pas pour le tir aux distances inférieures à 50^{m}. Ces plaques fonctionnent par suite du bruit produit par la détonation et mesurent la vitesse du son, au lieu de mesurer celle du plomb. Une plaque en acier chromé de 4^{mm} d'épaisseur et de 80^{cm} de côté enregistre encore le son avant l'arrivée du plomb aux distances inférieures à 45^{m}.

Pour mesurer la vitesse du plomb près de la bouche, il faut donc employer des plaques assez épaisses qui ne soient pas sensibles à l'ébranlement de l'air, tout en fonctionnant sans retard. Des plaques d'acier de 1^{cm} à 2^{cm} d'épaisseur, derrière lesquelles on place un interrupteur électrique, fonctionnant par inertie, remplissent parfaitement ces conditions.

II. — Influence de la nature de la poudre sur la vitesse.

Voici les résultats d'une série d'expériences que nous avons faites sur ce sujet à l'École normale de tir.

Fusil cal. 16. — *Canon choke-bored.* 30^{gr}, *plomb n°* 2. *Sertissage. Bourre feutre graissée.*

POUDRE. — Poids de la charge.	NATURE.	VITESSE initiale V_0.
		m
$4^{gr},0$	Poudre F_1	291
4	Poudre E_{60} (poudre pralinée d'Esquerdes, échantillon vif)	322
4	Superfine	382
3,0	Poudre au picrate d'ammoniaque salpêtré, n° 6 de Sevran-Livry	355
3,30	Poudre au picrate d'ammoniaque salpêtré, n° 6 de Sevran-Livry	375

La poudre au picrate a donné de très bons résultats comme vitesse et comme pression; mais, cette poudre ne se trouvant pas dans le commerce, il est inutile d'insister sur ce sujet.

Voici les résultats d'une autre série d'expériences faites à la poudrerie de Sevran-Livry avec des cartouches chargées dans des conditions identiques, mais différant par la poudre.

Fusil cal. 16. — *Canon cylindrique. Étuis carton.* 30^{gr} *plomb*, *n°* 6. (236 *grains*). *Sertissage.*

POUDRE. — Poids de la charge.	NATURE.	VITESSE initiale (1) V_0.
^{gr} 4,50	Poudre de chasse fine.....	^{m} 391
id.	id. id. extra-fine.....	418
id.	id. id. dite de carabine (à gros grains).	341
2,40	id. pyroxylée de chasse.....	354

Au point de vue des vitesses, la poudre superfine se classe entre la poudre fine et l'extra-fine.

III. — Variation de la vitesse avec le poids de la charge de poudre superfine.

Le graphique B donne les vitesses initiales V_0 obtenues avec un fusil calibre 16, canon choke-bored.

Les cartouches employées pour établir le graphique ci-après comprenaient les éléments suivants :

1° Douille en carton à percussion centrale;

2° Des charges variables de poudre superfine, ancien type;

3° Une bourre de feutre gras comprise entre deux rondelles de carton;

4° Une charge de 35^{gr} de plomb n° 2 (102 grains);

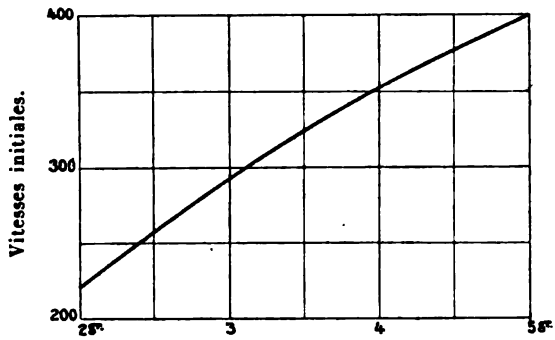
5° Une rondelle de carton.

La cartouche n'était pas sertie.

(1) Ces vitesses ont été mesurées au pendule balistique.

Fig. 2. — GRAPHIQUE B.

Fusil du calibre 16, coup choke-bored.

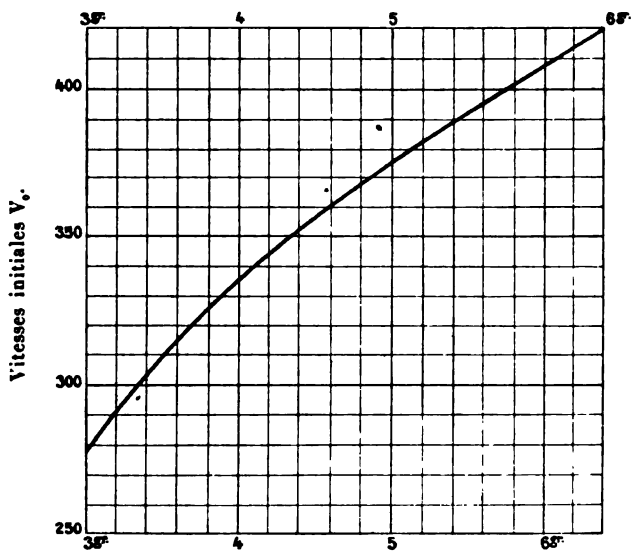


Poids des charges de poudre superfine.

Le graphique C donne les vitesses initiales V_0 obtenues avec un fusil de chasse à répétition, calibre 12, système Spencer; longueur totale du canon 765^{mm}.

Fig. 3. — GRAPHIQUE C.

Vitesses initiales V_0 obtenues avec un fusil calibre 12.



Poids des charges de poudre superfine.

Les cartouches employées pour construire le graphique ci-dessus comprenaient :

1° Douille en carton à percussion centrale;

2° Des charges variables de poudre superfine;

3° Des bourres de feutre épais trempées dans un mélange de cire et de graisse;

4° Une charge de 40^{gr} de plomb n° 2;

5° Une rondelle de carton.

Les cartouches étaient très légèrement serties.

IV. — Tassage de la poudre.

Un léger tassage de la poudre noire accroît la vitesse. Un tassage beaucoup plus énergique ne donne pas sensiblement plus de vitesse qu'un léger tassage. Il faut éviter, en chargeant les cartouches, de frapper sur la poudre avec un mandrin au point d'en écraser les grains. Outre que cette pratique est dangereuse, elle ne peut qu'amener une déperdition de vitesse.

V. — Différence de vitesse entre un canon lisse et un canon choke-bored.

On a tiré une même espèce de cartouches identiques, le même jour, dans les deux canons de deux fusils calibre 16.

Toutes les cartouches comprenaient 4^{gr} de poudre superfine et 30^{gr} de plomb n° 2.

FUSIL.	CANON.	VITESSE à 5^{m} de la bouche.	ÉCART probable des vitesses.	DIFFÉRENCE entre le calibre au milieu du canon et à la bouche.
		m	m	mm
Saint-Étienne..	Choke-bored...	345	10	0,8
	Cylindrique....	340	5	0,0
De Paris.....	Choke-bored...	346	5	1,0
	Cylindrique....	341	3	0,0

Comme on le voit, la vitesse enregistrée avec le canon choke-bored est de 5^{m} supérieure à celle que donne le canon cylindrique.

VI. — Longueur d'âme.

La longueur des canons des fusils de chasse à deux coups est à peu près uniforme, quels que soient leur provenance et leur calibre; leur longueur moyenne est de 75^{cm}.

A 1^{cm} d'allongement du canon correspond un accroissement d'environ 1^{m} dans la vitesse.

VII. — Influence de l'étui de la cartouche.

Quand l'étui en carton se fend longitudinalement, une partie des gaz de la poudre peut, en suivant la fissure, se porter en avant de la bourre dans les plombs; dans ce cas, on constate que la vitesse est beaucoup moindre qu'avec un étui non rompu. La différence de vitesse entre des étuis fendus et d'autres non fendus peut s'élever à 50^{m}. Avec des étuis sans renforts intérieurs et des bourres médiocres, elle peut même dépasser, dans certains cas, 100^{m}. La perte de vitesse due à la rupture du corps de carton est moindre avec des étuis ayant un renfort métallique intérieur qu'avec des étuis sans renfort. La rupture du culot en laiton d'un étui à corps de carton entraîne une perte de 20^{m} à 30^{m} dans la vitesse.

Dans un fusil chambré pour des étuis en carton, les étuis métalliques donnent, pour une même charge, une vitesse un peu moindre que les étuis en carton. Pour donner même vitesse que ces derniers, il convient d'augmenter la charge de poudre noire d'environ $0^{gr},2$.

On a obtenu les résultats suivants :

Étuis métalliques. — Bourre feutre comprise entre 2 cartons. — 30^{gr} plomb n° 2. — Bourre liège serrant bien par-dessus le plomb. — Fusil cal. 16, canon choke-bored chambré pour étuis en carton.

CHARGE DE POUDRE. Nature.	Poids.	V_0.
	gr	m
Superfine	4	362
	4,50	374
Picrate d'ammoniaque	3,30	344
	3,60	365

VIII. — Influence de la bourre.

La bourre a une influence très considérable sur la vitesse du plomb de chasse. Quand la bourre est mince et n'est pas plastique, elle laisse passer une partie des gaz dans le plomb. Dans ce cas, la vitesse est relativement faible.

Lorsque la bourre est élastique, la poudre brûle avec moins de vivacité qu'avec une bourre dure, et la vitesse est moindre dans le premier cas que dans le second.

Toutes autres choses égales d'ailleurs, les plus fortes vitesses sont obtenues avec une bourre dure, mais plastique : telles sont la bourre en cire et graisse, la bourre en feutre saturée de cire ou de graisse.

Voici quelques-uns des résultats obtenus par nous dans des conditions aussi comparables que possible :

Fusil cal. 16. — *Coup choke-bored.* — 4^{gr} *poudre superfine.* 30^{gr} *plomb n°* 2. — *Sertissage.*

BOURRE.	VITESSE à 5m de la bouche V_5.	ECART probable des vitesses
	m	m
(1) 2 rondelles de carton lustré de $0^{mm},8$ d'épaisseur chacune.	298	8
(2) 1 bourre feutre élastique non graissée.....	289	4
(3) Même bourre que ci-dessus (2) saturée de cire et de graisse.	345	6
(4) Même bourre que ci-dessus (3) comprise entre 2 rondelles de carton lustré de $0^{mm},8$ d'épaisseur.....	339	8
(5) Bourre en cire et graisse de 7^{mm} d'épaisseur comprise entre 2 rondelles de carton lustré de $0^{mm},8$ d'épaisseur.	351	»

On voit, en résumé, qu'entre deux cartouches ayant même chargement, mais dont l'une a une bourre élastique en feutre et l'autre une bourre en cire, il y a une différence de vitesse de plus de 60^{m}.

IX. — Influence de la grosseur des grains de plomb.

La grosseur du plomb n'a pas d'influence bien sensible sur les vitesses initiales V_0 ; mais, quand on mesure au chronographe les

vitesses, V_5 par exemple, on observe, avec des cartouches identiques ne différant que par la grosseur des grains, des vitesses d'autant plus faibles que le plomb est petit. Ce fait tient à ce que le plomb perd d'autant plus de vitesse pendant son trajet dans l'air qu'il est plus petit. Si, au lieu de mesurer V_5, on eût mesuré V_{10}, la différence de vitesse eût été encore plus forte.

X. — Sertissage du plomb.

Le sertissage du plomb augmente la vitesse. Entre des cartouches chargées en poudre superfine, dont les unes sont bien sorties et les autres pas, il y a une différence de vitesse d'une dizaine de mètres. Il y a donc avantage à bien sertir les cartouches.

XI. — Influence du poids de la charge de plomb.

Pour une même charge de poudre, la vitesse des plombs est d'autant plus forte que la charge de plomb est plus faible.

La charge de plomb des cartouches du calibre 16 ne varie guère qu'entre 30^{gr} et 40^{gr}; entre ces limites, à chaque diminution de 1^{gr} dans le poids du plomb correspond un accroissement d'environ 5^{m} dans la vitesse.

XII. — Influence de la température.

Il n'a pas été fait d'expériences spéciales avec les fusils de chasse pour mesurer l'influence de la température sur la vitesse. Mais, par analogie, on peut admettre que la vitesse initiale pour les cartouches en poudre noire est, comme pour les cartouches du fusil 1874, d'une dizaine de mètres plus forte en été qu'en hiver.

XIII. — Vitesse individuelle des plombs.

Tous les plombs d'une charge sortent d'un canon cylindrique avec la même vitesse; mais, comme ils n'ont ni le même poids, ni le même diamètre, ni les mêmes déformations, ils subissent pendant leur trajet dans l'air des pertes de vitesse inégales.

Nous avons déjà dit qu'il existe un appareil, dû à MM. Billardon et Dou, qui permet de mesurer la vitesse individuelle des dif-

férents plombs d'une même charge à une distance quelconque de la bouche.

Des mesures de cette nature faites à la poudrerie de Sevran-Livry ont fait constater que les différents grains d'une charge de plomb n° 6, dont la vitesse initiale est de 375^{m}, ont, à 30^{m} de la bouche du fusil, des vitesses qui diffèrent en moyenne de 8^{m},5 et dont les écarts extrêmes s'élèvent à 30^{m} ou 40^{m}. Ces écarts vont en croissant rapidement avec la portée.

CHAPITRE III.

VITESSES RESTANTES AUX DIFFÉRENTES DISTANCES.

Les vitesses restantes aux différentes distances se déduisent de la connaissance des durées de trajet par des procédés de calcul indiqués dans les traités de balistique, et qu'il n'y a pas lieu d'indiquer ici.

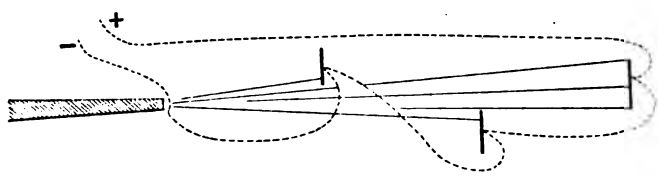
Les durées de trajet des plombs de chasse ont été déterminées par nous aux très petites distances, au moyen du chronographe Le Boulengé, et aux distances plus fortes, au moyen d'un chronographe à diapason et à cylindre enregistreur.

L'arrivée des plombs à une distance donnée était signalée par leur choc sur une plaque d'acier, derrière laquelle était placé un petit appareil électrique produisant, sans retard appréciable, des interruptions de courant dès que la plaque était frappée par les plombs, et rétablissant automatiquement ce courant au bout d'un temps très court. L'appareil employé est assez sensible pour enregistrer le choc d'un seul grain de plomb n° 11, pesant 0^{gr},037, arrivant avec la vitesse de 60^{m} sur une plaque d'acier de 4^{mm} d'épaisseur. S'il était utile d'enregistrer des chocs d'une moindre intensité, il suffirait de prendre une plaque plus mince. Toutefois, on rencontrerait dans cet emploi les inconvénients déjà signalés

en parlant de la mesure des vitesses initiales : des plaques trop sensibles enregistreraient également le bruit de la détonation. Ce fait est sans inconvénient quand on tire du plomb de chasse au delà de 30^{m} et qu'on enregistre les durées au moyen du chronographe à diapason ; car, avec un bon appareil interrupteur, le courant interrompu par le bruit de la détonation peut être rétabli par l'appareil, quand le plomb arrive, depuis un temps suffisamment long pour qu'il n'y ait pas de confusion possible entre ces deux sortes de ruptures.

On a essayé d'enregistrer d'un même coup les durées de trajet à 3 distances différentes, au moyen de 3 plaques échelonnées en cascade, qui recueillaient chacune une portion différente de la gerbe, comme il est indiqué ci-dessous.

Fig. 4.



A la suite d'une série faite sur 3 plaques montées ainsi, il a semblé que les plombs situés sur les bords de la gerbe ont généralement un peu moins de vitesse que ceux situés au milieu de la gerbe. Il en résulte que, en mesurant les vitesses au moyen de plaques disposées comme ci-dessus, on enregistre sur les deux premières plaques l'arrivée des plombs qui ont perdu relativement plus de vitesse ; sur la dernière, on enregistre l'arrivée des plombs ayant relativement conservé mieux leur vitesse.

La vitesse initiale paraît moindre, et la perte de vitesse due à la résistance de l'air semble, dans ce cas, être moindre qu'elle ne l'est en réalité.

Le graphique ci-après donne les vitesses restantes aux différentes distances des plombs n° **2** et n° **11**. Température 0°. Plomb non durci.

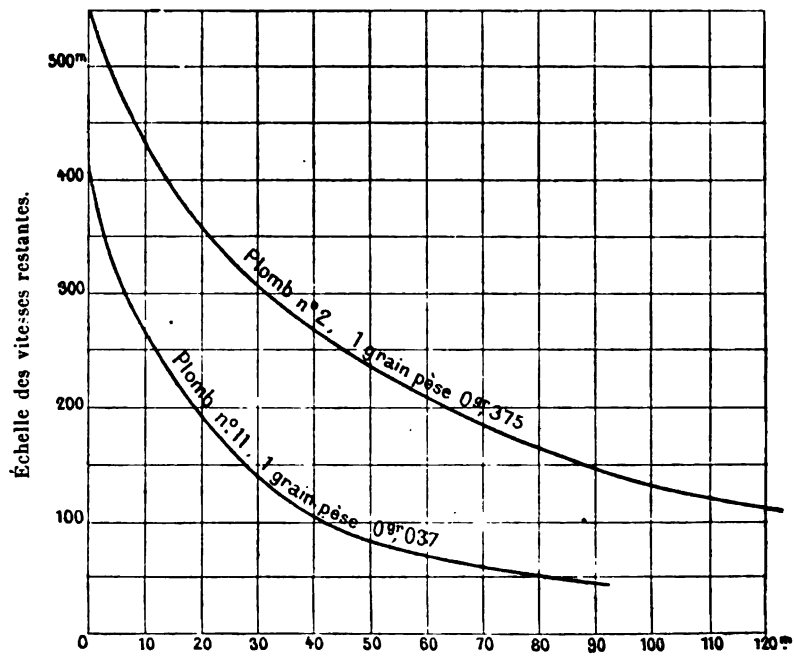
Le graphique D permet, lorsqu'on a mesuré la vitesse des plombs n^{os} **2** et **11** à une distance déterminée, d'en conclure la vitesse initiale ou la vitesse restante à une distance quelconque.

Ainsi, avec le plomb n° 2, on a observé $V_{10} = 304^{m}$; 10^{m} plus près, soit à la bouche, on aura $V_0 = 355^{m}$.

Il y aurait grand avantage à lancer des grains indéformables

Fig. 5. — Graphique D.

Vitesses restantes des plombs de chasse.



Échelle des portées.

tout en ayant une densité au moins égale à celle du plomb. L'emploi d'une semblable grenaille permettrait d'étendre beaucoup le cercle dans lequel un numéro de plomb donné peut produire de l'effet meurtrier.

CHAPITRE IV.

PUISSANCE MEURTRIÈRE DES PLOMBS.

Il est possible de tuer un animal relativement gros en le criblant de petit plomb lancé à grande vitesse. Toutefois, il est évident que l'effet cherché sera plus sûrement obtenu avec un petit nombre de projectiles de grosseur appropriée à la taille de l'animal.

Suivant que l'animal doit être tiré de près ou de loin, le poids des projectiles sphériques en plomb doit varier de $\frac{1}{2000}$ au $\frac{1}{10000}$ du poids de l'animal que l'on cherche à abattre.

On emploie habituellement les numéros de plomb de **10** à **12** pour les petits oiseaux (alouettes, etc.),

les n^{os} **6** à **8** pour les perdrix,

les n^{os} **2** à **6** pour le lièvre,

les n^{os} **00** à **2** pour le chevreuil,

les chevrotines ou la balle pour les animaux plus gros.

En moyenne, on emploie des plombs dont le grain pèse le $\frac{1}{5000}$ du poids de l'animal que l'on cherche à abattre.

Des plombs ayant ce poids relatif brisent la plupart des os de l'animal frappé quand ils arrivent avec une vitesse supérieure à 150^{m}, et ils peuvent, en tous cas, faire des blessures très graves.

Les mêmes plombs ne font plus que des plaies contuses quand ils frappent directement la chair à une vitesse inférieure à 70^{m}, et ils peuvent ne rien faire d'appréciable quand ils frappent un épais matelas de plumes ou de poils.

D'après cette règle et le graphique des vitesses restantes, les plombs appropriés à la grosseur du gibier peuvent produire un effet meurtrier jusqu'aux distances données ci-après, en les

tirant au maximum de vitesse initiale qu'il soit facile de réaliser dans les armes de chasse, soit 380^{m}.

Plomb n°	Brise les membres, jusqu'à la distance de	Pénètre dans les chairs sans briser les os, jusqu'à la distance de
	m	m
0	80	170
2	73	155
4	67	140
6	60	125
8	55	100
10	40	75
11	33	65

En employant des projectiles en plomb pesant notablement plus que le $\frac{1}{5000}$ du poids de l'animal, on pourrait produire de l'effet à des distances supérieures à celles données dans le tableau ci-dessus. Ainsi, un boulet qui tombe de 10^{m} de haut et qui a une vitesse de 14^{m}, suffit pour tuer un homme. Un train de chemin de fer animé d'une vitesse d'une dizaine de mètres à la seconde suffit, par son choc, pour broyer un homme ou un cheval, même sans l'écraser sous les roues; de même une chevrotine animée d'une assez faible vitesse suffit pour broyer un petit oiseau, et une balle lancée à la main pour assommer une perdrix.

De même, dans certains cas, on pourra tuer un gros animal avec du petit plomb, et avoir des coups de *hasard* qui s'écarteront notablement de la règle donnée ci-dessus.

Ainsi, on cite des hommes qui sont tombés foudroyés par un seul grain de petit plomb qui leur était entré dans l'œil. Il y a eu des soldats tués par l'ancienne balle de tube à tir qui pesait 1^{gr} et avait une assez faible vitesse.

Les différents êtres animés offrent du reste des différences notables dans la sensibilité aux blessures. Un plomb suffit pour faire tomber la bécassine, le chevreuil; une blessure relativement légère met l'homme hors de combat. La perdrix continue son vol avec les pattes brisées, le lièvre se sauve en courant sur les moignons ou encore les entrailles pendantes. Le sanglier bourre parfois avec 10 balles dans le corps et les membres brisés. Il faut atteindre un félin dans ses organes essentiels, cœur, cerveau, pour

le tuer rapidement · un félin peut être criblé de blessures qui le feront mourir dans peu de temps sans cesser d'être dangereux.

On voit donc que la puissance meurtrière du plomb n'est pas une chose absolue qui puisse être chiffrée exactement; le tableau ci-dessus n'est qu'une moyenne donnant le résultat probable.

Les limites que nous avons données correspondent à la vitesse maximum qu'on puisse réaliser dans les armes de chasse sans danger de les faire éclater, et sont, par suite, les limites pratiques de la portée efficace maximum de ces plombs.

Vitesse de recul.

Bien des tireurs accusent certains fusils d'avoir un recul extraordinaire. Quant à nous, nous avons eu occasion de tirer au moins une centaine de fusils de chasse et plusieurs milliers de fusils de guerre. Nous n'en avons jamais rencontré un seul qui eût un recul qui ne fût pas en rapport avec le poids du fusil, de la charge, du plomb, et avec la vitesse initiale.

Nous avons mesuré avec une grande exactitude, au moyen d'un diapason fixé au fusil, la vitesse du recul d'un fusil de chasse calibre 16, suspendu librement et tirant des cartouches chargées les unes en poudre superfine, les autres en poudre au picrate d'ammoniaque.

Nous avons constaté que la vitesse du recul de cette arme dépend exactement des mêmes éléments que celle des fusils de guerre ou des pièces d'artillerie.

Si l'on appelle P le poids du fusil,

v la vitesse du recul,

p le poids du plomb et des bourres,

ϖ le poids de la charge de poudre,

V_0 la vitesse initiale,

on pourra calculer la vitesse du recul par la formule ci-dessous

$$v = (p + 1.4\varpi)\frac{V_0}{P}.$$

Dans des expériences spéciales faites à l'École normale de tir, on a constaté que l'impression physiologique du recul est proportionnelle à la force vive du recul de l'arme $\left(\frac{Pv^2}{2g}\right)$.

Le tableau ci-après donne les éléments du chargement et la mesure de l'impression physiologique du recul des fusils de chasse dans les conditions moyennes où ils sont employés.

On a ajouté en regard, à titre de comparaison, les éléments correspondants du fusil modèle 1874.

DÉSIGNATION du fusil.	POIDS			VITESSE		FORCE vive du recul $\frac{P v^2}{2g}$.
	du fusil.	de la poudre.	du plomb et des bourres.	initiale des projectiles.	du recul v.	
	kg	gr	gr	m	m	kgm
Calibre 16.....	3,100	4,0	32	375	4,60	3,33
» 12.....	3,350	5,0	40	375	5,32	4,83
Modèle 1874...	4,260	5,25	25,6	445	3,51	2,67

CHAPITRE V.

PORTÉE EXTRÊME DES FUSILS DE CHASSE.

Il peut être quelquefois utile, pour prévenir des accidents ou même des réclamations de voisins mal disposés, de connaître la portée extrême des fusils de chasse.

La portée maximum du plomb n° 4 est de 200^m; elle est obtenue sous l'angle de 32°. Cette portée ne varie pas sensiblement quelle que soit la vitesse initiale, lorsque celle-ci varie entre 200^m et 400^m.

La portée extrême des autres numéros de plomb est d'autant plus forte que le grain est plus gros.

Elle est d'environ 400^m pour le plomb double zéro (poids du grain, 1^{gr}).

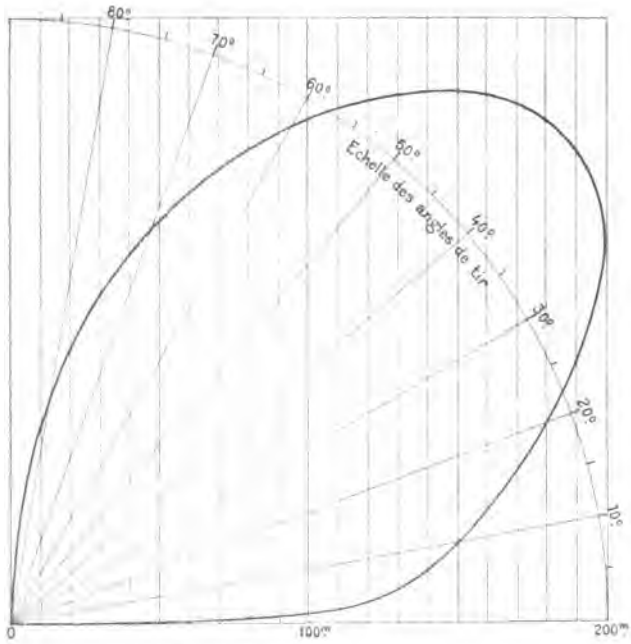
Au delà de 120^m, le plomb de chasse n° 4 est entièrement inoffensif, sauf pour les yeux.

Du plomb n° 4 (1 grain pesant $0^{gr},24$), tiré verticalement en l'air, met onze secondes à retomber quelle que soit la charge de poudre, lorsque celle-ci varie entre 2^{gr} et 4^{gr}.

A la portée extrême, ou encore quand le plomb de chasse re-

Fig. 6.

Variation de la portée avec l'angle de tir. Plomb de chasse n° 4. Un grain pèse $0^{gr},25$. Charge 3gr poudre superfine, ancien type. Fusil calibre 16.



Échelle des portées.

tombe après avoir été tiré verticalement, la vitesse des plombs est 20m environ pour le n° 2 et 10m pour le n° 11.

La balle sphérique du calibre 16, tirée sous des angles de 25° à 50°, porte à 1000m environ.

CHAPITRE VI.

DU CHARGEMENT DES CARTOUCHES.

Étui. — Il y a dans chaque calibre deux genres d'étuis : les étuis à gros et à petit bourrelet. Il convient de prendre le modèle qui correspond au fusil que l'on a à tirer. Des étuis à gros bourrelet n'entrent pas dans un fusil chambré pour le petit bourrelet. D'un autre côté, les étuis à petit bourrelet peuvent donner des ruptures au culot fort désagréables pour le tireur, quand on les tire à forte charge dans un fusil chambré pour les étuis à gros bourrelet.

Il y a avantage à n'employer que des étuis de bonne qualité, qui ne se fendent pas longitudinalement. On a exposé les inconvénients qui résultent de fentes longitudinales au point de vue de la vitesse; on verra plus loin ceux qui en résultent au point de vue de la dispersion. La qualité des étuis doit être d'autant meilleure que la charge de poudre est plus forte.

Poudre. — N'ayant pas expérimenté suffisamment la poudre pyroxylée, nous préférons ne pas en parler. Cette poudre étant réservée, c'est la poudre superfine qui convient le mieux pour le chargement des cartouches de chasse. La poudre fine donne notablement moins de vitesse que la précédente. La poudre extrafine coûte cher et est trop vive.

Avec le calibre 16, la charge de poudre superfine doit être de 4^{gr}; avec le calibre 12, elle doit être de $4^{gr},50$.

Les étuis métalliques nécessitent des charges $0^{gr},2$ plus fortes que les étuis en carton.

Bourre. — Pour obtenir une grande vitesse et un tir serré, il faut mettre sur la poudre une bourre formée soit d'une rondelle de cire et graisse, soit de feutre saturé de cire et graisse. L'épais-

seur de cette bourre doit être comprise entre la moitié et les $\frac{2}{3}$ du calibre de l'arme.

Il faut placer ces bourres entre deux cartons pour empêcher, d'une part, la poudre d'être au contact direct des matières grasses, et empêcher, d'autre part, les grains de plomb de s'incruster dans la bourre.

Plomb. — Mettre 30^{gr} à 35^{gr} de plomb dans les cartouches calibre 16 et 35^{gr} à 40^{gr} dans les cartouches calibre 12. Donner un sertissage énergique par-dessus le plomb. Quand on se sert d'un fusil dont un seul des canons est choke-bored, il est rationnel de charger le canon cylindrique avec du plomb plus fin que le canon choke-bored. En effet, le premier de ces canons disperse plus et est destiné à être tiré à plus faible distance que l'autre. Il faut donc que le coup soit plus garni, et il est sans inconvénient d'employer des grains moins lourds, puisque la distance du tir doit être plus faible.

Quand on met du plomb n° 6 dans le canon cylindrique, on fera bien de mettre du n° 4 dans le canon choke-bored.

Le plomb durci est plus avantageux, au point de vue de la portée et de la précision du tir, que le plomb ordinaire qui se déforme trop dans le canon. Le plomb déformé a plus de dispersion et conserve moins bien sa vitesse que la grenaille bien régulière à la sortie du canon.

CHAPITRE VII.

DISPERSION DU TIR A PLOMB ET DIMENSIONS DES GERBES.

I. — Utilité d'une gerbe ouverte.

Le tireur parfait (il n'existe qu'en théorie) tirerait toute espèce de gibier à balle dans une arme rayée d'une grande précision et de calibre approprié. Avec un fusil aussi précis que le fusil modèle 1886 et réglé pour le tir aux petites distances, ce chasseur idéal manquerait rarement une perdrix à 100^{m} et un lièvre à 200^{m}.

L'ouverture de la gerbe des fusils de chasse tirant de la grenaille et le grand nombre de grains qui composent la charge de plomb sont les correctifs *nécessaires* de la maladresse humaine. Pour la presque totalité des chasseurs, les écarts personnels du tireur ont une grandeur bien supérieure au rayon de la gerbe de plomb d'un fusil de chasse ordinaire; aussi le tir très serré ne convient-il qu'aux très bons tireurs.

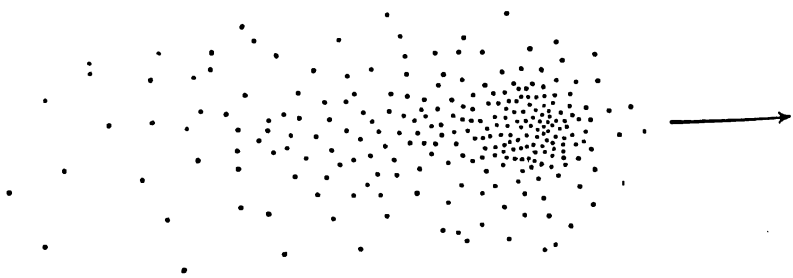
II. — Forme de la gerbe.

Lorsqu'une charge de plomb est lancée dans de bonnes conditions par un canon non rayé sur une cible verticale suffisamment grande pour recueillir tous les plombs, elle forme une gerbe circulaire dans laquelle les empreintes se trouvent réparties suivant les lois habituelles de la probabilité. La densité des empreintes va en décroissant du centre à la circonférence.

La meilleure façon d'apprécier la dispersion d'une gerbe de plomb consiste à tirer sur une cible assez grande pour recueillir tous les plombs et à mesurer le rayon de la circonférence, ou encore les dimensions du rectangle qui contient une fraction définie des empreintes des grains de plomb les plus au centre. Cette fraction doit être comprise entre 50 pour 100 et la totalité des empreintes.

Nous avons déjà dit précédemment que les différents grains d'une charge de plomb subissent dans l'air des pertes de vitesse inégales, dues à leurs différences de poids, de diamètre et de déformations.

Fig. 7.



Vue par côté d'une gerbe de plomb.

Une charge de plomb, en mouvement, vue par côté, offre la disposition ci-dessus.

L'allongement relatif de la gerbe de plomb est d'autant plus grand que la portée est plus grande. Il est facile de contrôler cette disposition en tirant à une certaine distance sur une surface d'eau calme et étendue.

III. — Variation de la dispersion avec la distance.

Nous avons mesuré jusqu'à 60^{m} la dispersion des plombs n^{os} 2 et 11, tirés dans un très bon fusil calibre 16 avec d'assez bonnes cartouches. Ces résultats régularisés sont reproduits ci-dessous. Ces résultats ne représentent pas le maximum de ce qu'il est possible d'obtenir avec un coup isolé et exceptionnellement bon, mais bien la moyenne de ce que l'on obtient avec un bon fusil et d'assez bonnes cartouches.

PORTÉE.	PLOMB N° 2.			PLOMB N° 11.		
	Écart probable des grains.	Diamètre de la gerbe contenant : 75 pour 100 des grains.	Diamètre de la gerbe contenant : 98 pour 100 des grains.	Écart probable des grains.	Diamètre de la gerbe contenant : 75 pour 100 des grains.	Diamètre de la gerbe contenant : 98 pour 100 des grains.
			Canons choke-bored.			
m	m	m	m	m	m	m
10.....	0,028	0,14	0,21	0,040	0,20	0,29
20.....	0,079	0,39	0,58	0,11	0,54	0,80
30.....	0,15	0,73	1,10	0,22	1,1	1,6
40.....	0,23	1,12	1,70	0,38	1,9	2,8
50.....	0,36	1,75	2,60	0,61	3,0	4,5
60.....	0,50	2,45	3,70	0,93	4,5	6,8
70.....	0,68	3,32	5,00			
80.....	0,91	4,45	6,70			
			Canons cylindriques.			
10.....	0,043	0,21	0,32	0,055	0,27	0,40
20.....	0,11	0,54	0,80	0,14	0,68	1,0
30.....	0,20	0,98	1,5	0,27	1,30	2,0
40.....	0,29	1,4	2,1	0,44	2,10	3,2
50.....	0,44	2,2	3,2	0,69	3,40	5,0
60.....	0,59	2,9	4,3	1,02	5,0	7,5
70.....	0,79	3,9	5,8			
80.....	1,03	5,0	7,5			

Comme on le voit, la différence relative entre le tir des canons

choke-bored et cylindriques diminue à mesure que la distance augmente. On voit également que la dispersion du plomb s'accroît relativement plus vite que la distance. En cherchant une loi empirique pour représenter la dispersion, on a trouvé, en appelant Ep l'écart probable des grains, t la durée de trajet,

$Ep = 0{,}65\,t^{1{,}3}$ pour le plomb n° 2 et les canons choke-bored;

$Ep = 0{,}72\,t^{1{,}3}$ pour le plomb n° 11 et les mêmes canons.

Les sections verticales faites dans la gerbe sont à peu de chose près circulaires jusqu'à 60^{m}; au delà, elles sont sensiblement allongées dans le sens vertical.

IV. — Mode d'opérer pour apprécier la dispersion du tir d'un fusil ou d'une espèce de cartouche.

Lorsqu'on veut apprécier la dispersion d'un fusil, ou d'une espèce de cartouche, il faut tirer sur une cible verticale assez grande pour recueillir tous les plombs.

En consultant le tableau du § III, on voit que, pour obtenir ce résultat, il faut, à la distance de 10^{m}, une cible de 40^{cm} à 50^{cm} de côté; à 50^{m}, il faut une cible de plus de 3^{m} de côté. On a rarement à sa disposition un panneau de 3^{m} et, quand on l'a, il faut beaucoup de temps pour effacer tous les grains d'un seul coup et remettre le panneau en état. On peut, au contraire, disposer et remplacer facilement une cible en papier de 50^{cm} de côté. Aussi la distance de 10^{m} est-elle la plus commode pour apprécier la façon dont un fusil groupe ses plombs. Des expériences faites à des distances considérables, sur des cibles dans lesquelles on ne recueille qu'une faible fraction des coups, ne peuvent renseigner que fort imparfaitement sur le tir d'un fusil, surtout si l'on n'est pas parfaitement certain du réglage du tir, autrement dit, si l'on n'est pas sûr que le centre de la surface visée est atteint par le centre de la gerbe.

V. — Influence des éléments du chargement sur la dispersion des plombs.

Étui. — Quand l'étui se fissure longitudinalement, il se produit dans le carton un canal trop étroit pour être obturé par la bourre et par lequel les gaz de la poudre pénètrent dans la charge de plomb.

On a déjà dit que, dans ce cas, on observe une perte de vitesse qui atteint souvent 50^{m}. On observe, en outre, une dispersion du tir qui, à 10^{m}, est moitié plus grande que celle que donne un étui non fendu.

Poudre. — La nature de la poudre n'a pas d'influence sensible sur la dispersion des plombs. On a expérimenté, dans cet ordre d'idées, les poudres F_3, E, les diverses poudres de chasse fine, superfine, extra-fine, les poudres au picrate, la poudre B modèle 1886. Ces diverses poudres, avec des cartouches bien faites, donnent toutes la même dispersion, quels que soient la nature de la poudre et le poids de la charge, quand la vitesse varie entre 150^{m} et 400^{m}. Cette règle s'est trouvée vérifiée dans tous les fusils qui ont été expérimentés. Quand la vitesse initiale des plombs dépasse 400^{m}, la dispersion s'accroît sensiblement avec la vitesse. Cet accroissement de dispersion est dû alors, en partie, aux déformations considérables que subissent les plombs.

Bourre. — A condition de bien remplir son rôle d'obturateur, la bourre n'a pas d'influence sur la dispersion. Quand la bourre obture mal, la dispersion s'accroît dans des limites considérables, et cela, plus avec les canons cylindriques qu'avec les canons choke-bored. En règle générale, les bourres qui fournissent la plus forte vitesse sont celles qui donnent le tir le plus serré.

La bourre placée en avant du plomb doit être légère, sans quoi elle accroît la dispersion.

Plomb. — Dans les limites où il varie habituellement, le poids de la charge de plomb n'a pas d'influence sur les dimensions de la gerbe.

La grosseur du grain a sur la dispersion une influence très notable, dont nous allons faire connaître l'importance.

En tirant à 10^{m} dans plusieurs fusils les cartouches ci-après :

Nombre de cartouches.	Chargées en plomb n°
35	00
12	0
23	2
57	9

on a constaté que la dispersion du tir est d'autant plus forte que le plomb est plus petit. En cherchant une loi empirique pour représenter ces variations, on a trouvé que le produit de la dispersion (1) par la racine carrée du diamètre des plombs est un nombre constant.

En exprimant la dispersion du plomb n° 00 par 1,00, la dispersion à 10^{m} des autres numéros de plomb est donnée par le Tableau ci-dessous :

NUMÉRO DES PLOMBS.	DIAMÈTRE des grains.	NOMBRE de grains dans 30^{gr}.	DISPERSION.
	mm		
00	5,32	34	1,00
0	4,46	57	1,09
2	3,90	86	1,17
4	3,43	127	1,25
6	3,02	185	1,33
8	2,67	270	1,44
10	2,21	470	1,55
11	1,90	750	1,67

Tous les fusils expérimentés suivent sensiblement cette loi empirique.

VI. — Influence de la déformation des grains sur la dispersion du tir.

En tirant à mitraille, dans des pièces d'artillerie, des balles sensiblement indéformables en zinc, en fer, en fonte, on a constaté que la dispersion du tir reste, à fort peu près, proportionnelle à la distance.

On a vu, d'autre part (p. 541), qu'en tirant de la grenaille de plomb dans les fusils de chasse, la dispersion croît beaucoup plus que proportionnellement à la distance. Cet accroissement relativement plus rapide de la dispersion de la grenaille de plomb tient aux déformations que les grains subissent dans le canon. Quand on tire à une forte vitesse, il est impossible, avec les poudres ac-

(1) Celle-ci étant exprimée par une donnée quelconque, par exemple le côté du rectangle ou le rayon du cercle contenant une fraction donnée des coups.

tuelles, d'éviter la déformation du plus grand nombre des grains de plomb. Un fort durcissement du plomb peut réduire sensiblement ces déformations, mais ne les supprime pas entièrement.

En employant de la grenaille de laiton, de zinc, de fonte, de fer, on éviterait à peu près entièrement ces déformations; mais, avec les métaux ci-dessus et tous les métaux communs, on aurait l'inconvénient d'avoir une densité inférieure à celle du plomb. Dans un même parcours, les grains d'un même diamètre et même les grains d'un même poids (1) subiraient des pertes de vitesse notablement plus grandes que les grains de plomb. Les grains ayant la moindre densité auraient donc une puissance meurtrière s'étendant moins loin que celle des grains de plomb.

Les seuls métaux durs et ayant une densité égale ou supérieure à celle du plomb (or, platine, tungstène, etc.) sont tous trop chers et trop difficiles à travailler pour pouvoir être utilisés comme projectiles de chasse.

Il faut remarquer aussi que des grains indéformables ne pourraient être tirés dans des canons choke-bored. Comparés aux charges de grains de plomb tirés dans un canon choke-bored, les avantages de grains indéformables comme précision ne seraient appréciables qu'au delà de 50^{m}.

MODES PARTICULIERS DE CHARGEMENT DU PLOMB.

VII. — Agglomération des grains de plomb et procédés particuliers de tir de la grenaille.

On a fait des cartouches dans lesquelles les plombs, une fois en place, étaient agglomérés par différents mélanges agglutinants (résine, soufre, cire et graisse, etc.). Ces cartouches ont toujours fourni des résultats médiocres.

Avec certains mélanges assez friables, la charge se brise dans le canon en un plus ou moins grand nombre de morceaux, mais le tir de ces fragments n'est pas plus régulier que celui d'une charge non agglutinée.

Le mélange agglutinant reste fréquemment collé aux grains, augmente leur dispersion et diminue leur vitesse.

(1) Les grains sphériques de fer et de plomb pesant le même poids ont des sections qui sont dans la proportion de $\frac{5}{4}$.

En coupant la cartouche à hauteur de la partie postérieure de la bourre, la charge de plomb part avec l'étui qui la contenait et fait ordinairement balle. En la coupant juste à hauteur de l'avant de la bourre, une partie des plombs quitte l'étui au sortir du canon et fournit, dans certains cas, un tir très serré. Toutefois, les effets obtenus sont fort différents d'un coup à l'autre.

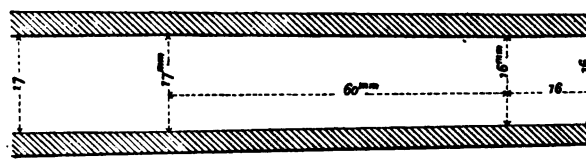
VIII. — Influence de l'arme sur la dispersion. Canons choke-bored ou à étranglement.

Voici comment sont organisés à la bouche les canons choke-bored ou à étranglement qui fournissent le tir le plus serré.

Le canon, cylindrique jusque près de la bouche, est conifié de $\frac{1}{30}$ à $\frac{1}{15}$ de calibre sur une longueur de 3 à 4 calibres, puis redevient cylindrique sur une longueur de 1 calibre.

Voyons ce qui se passe dans l'intérieur du canon au moment de la déflagration de la poudre. La charge de plomb poussée par la poudre s'écrase par suite de son inertie.

Fig. 8.



L'ensemble des grains de plomb manquant de cohésion tend à s'étaler en largeur, mais en est empêché par les parois du canon.

Les plombs conservent cette tendance à l'expansion latérale tant que dure la poussée des gaz. La cause qui tend à faire étaler une charge de petit plomb est la même que celle qui produit le forcement par inertie des balles allongées.

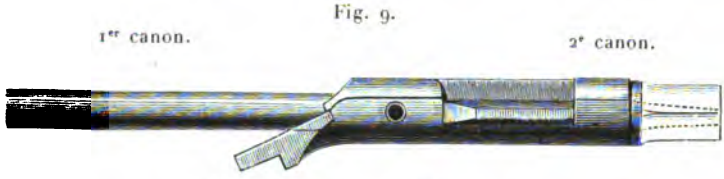
Dans un fusil lisse et cylindrique, la charge de plomb arrive donc à la bouche toujours poussée et ayant, par suite, toujours une tendance à s'épanouir. Cette cause produit une dispersion initiale des plombs dans tous les sens, et le diamètre de la gerbe contenant la plus grande partie des grains est, pour les petites distances, à peu près égal au $\frac{3}{100}$ de la portée. Cette règle se vérifie dans les fusils de chasse et dans les canons lisses tirant à mitraille.

Dans un canon choke-bored, la charge de plomb entrant dans la partie conique reçoit, du fait de cette conicité, un resserrement assez brusque. Les plombs situés à la circonférence et ceux qui les touchent sont lancés vers le centre de la charge. Cette contraction de toute la masse peut être combinée de façon à faire exactement équilibre à la tendance qu'a la poussée des gaz à étaler la masse de plomb. Dans un canon choke-bored bien organisé, la charge de plomb sort donc sans tendance à s'étaler et, par suite, sans déviation initiale des grains.

IX. — Expériences diverses sur les canons à étranglement.

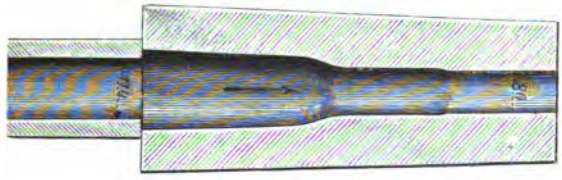
On a fait un certain nombre d'expériences avec un fusil calibre $11^{mm},0$, au bout duquel on avait fixé un bout de canon calibre 8^{mm}, comme l'indiquent les figures ci-dessous (1).

Fig. 9.



Mode d'assemblage de 2 canons.

Fig. 10.



Coupe des 2 canons assemblés (Échelle $\frac{1}{1}$).

L'ensemble de ces deux canons était tel que la charge sortant

(1) Le premier fusil était un fusil mod. 74 que l'on avait raccourci un peu pour pouvoir l'assembler avec le second fusil. Ce second fusil était formé d'un bout de canon, cal. $8^{mm},0$, vissé sur une boîte de culasse mod. 74. On engageait cette boîte de culasse au bout du premier fusil et, en donnant $\frac{1}{4}$ de tour, le grand tenon de la baïonnette du premier fusil prenait appui sur le rempart de la boîte de culasse du second fusil et fixait d'une façon très solide l'assemblage.

du canon calibre 11^{mm} entrait dans une partie conique et y prenait progressivement le calibre 8^{mm}. La partie cylindrique qui était au calibre 8^{mm} n'avait que quelques millimètres de longueur.

On a constaté que la grenaille de plomb tirée dans ce dispositif subissait une contraction considérable en traversant l'étranglement. Toute la charge de plomb ne franchissait pas l'étranglement, même en tirant avec une charge relativement forte de 4^{gr},50 de poudre.

La partie arrière de la charge s'arrêtait et restait avec la bourre à l'entrée de l'étranglement. Dans cette partie arrière, les grains situés à la surface étaient fortement allongés et aplatis; ils formaient une surface lisse, sur laquelle on n'apercevait plus les interstices des grains. Les grains situés à l'intérieur de cette masse avaient été fortement comprimés et se trouvaient emboîtés les uns dans les autres, comme l'indique la figure ci-dessous.

Fig. 11.

Vue de grains de plomb arrêtés dans l'étranglement.

La perte de vitesse résultant du passage dans l'étranglement était telle qu'une grande partie des grains, qui, en sortant du canon calibre 11^{mm}, possédaient une vitesse de plus de 400^{m}, avaient leur vitesse réduite à moins de 100^{m} après le passage dans l'étranglement et rebondissaient sur une cible en toile et papier placée à 5^{m} de la bouche, sans la percer.

On a vu, d'autre part, au § 5 du chap. II, qu'en mesurant la vitesse des plombs au moyen du chronographe Le Boulangé on enregistre une vitesse notablement plus grande avec des canons choke-bored qu'avec des canons cylindriques. Or, il convient de remarquer ici que le chronographe Le Boulangé enregistre non la vitesse moyenne des grains, mais bien l'arrivée du grain qui a la plus forte vitesse.

Les mesures de vitesses au chronographe, rapprochées de l'expérience ci-dessus faite avec un canon très étranglé, nous portent

à conclure que, dans un canon à étranglement, l'avant de la charge prend une vitesse supérieure à la vitesse moyenne de la charge, l'arrière prend une vitesse inférieure à la moyenne, et il est plus que probable que la vitesse moyenne est inférieure à ce qu'elle eût été dans un canon cylindrique.

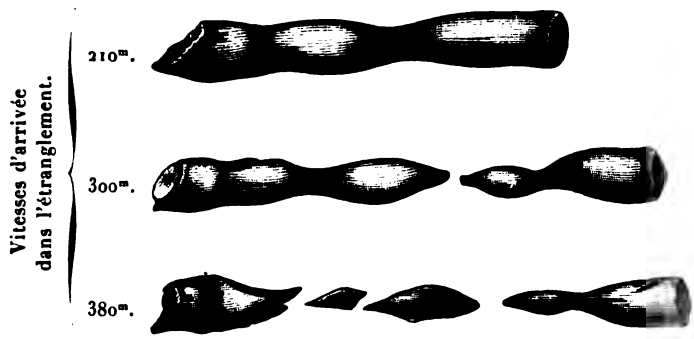
Quand on tire des balles allongées du calibre 11^{mm} en plomb pur dans le canon à étranglement décrit ci-dessus, on constate des phénomènes fort curieux. Les balles subissent, en traversant l'étranglement, les phénomènes de contraction rythmée que présente une

Fig. 12.

Balle sortant du 1er canon.

Fig. 13.

Balles après le passage dans l'étranglement.



veine liquide s'écoulant en mince paroi. Le plomb s'allonge et présente une série d'étranglements et de renflements d'autant plus marqués que la vitesse est plus forte. Le plomb se comporte donc, dans ce cas, comme un véritable liquide.

La longueur relative qui sépare les différents nœuds, ainsi que leur importance relative, montre encore que la perte de vitesse subie en traversant l'étranglement est fort considérable. La perte de vitesse de l'avant est moindre que celle de l'arrière. C'est en

partie à cette cause qu'est due la séparation de la balle en plusieurs morceaux, quand on tire à une forte vitesse.

De pareilles expériences ne sont, bien entendu, possibles qu'avec des canons très épais et très solides. En essayant de répéter ces expériences avec le canon choke-bored d'un fusil de chasse ordinaire, on produirait peut-être un petit étranglement sur la balle, mais on produirait pour sûr un fort gonflement ou l'éclatement de la partie rétrécie du canon.

X. — Pente du raccordement de la chambre et du canon.

Dans les fusils se chargeant par la culasse, la chambre est d'un diamètre plus fort que le canon. La chambre est raccordée au canon par une portion de tronc de cône dont la longueur varie notablement suivant les armes.

Dans la plupart des fusils fabriqués antérieurement à 1880, le raccordement n'a qu'une longueur de 2^{mm} à 5^{mm}. Dans la plupart des bons fusils fabriqués depuis cette époque, le raccordement est en pente plus douce et a une longueur de 5^{cm} environ. Cette dernière disposition est de beaucoup préférable.

Deux fusils à raccordement de 3^{mm}, dont nous avons fait allonger le raccordement à 5^{cm}, ont eu leur dispersion initiale réduite de moitié par cette opération.

XI. — Influence de l'état intérieur des canons cylindriques.

Il n'y a pas de différence de dispersion bien sensible entre les tirs d'une même espèce de cartouche : d'une part, dans un canon *cylindrique* en parfait état d'entretien, et, d'autre part, dans un canon semblable, mais rouillé, mal poli et cabossé.

XII. — Tir du plomb de chasse dans les armes rayées.

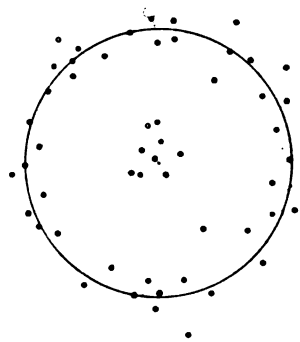
Quand on tire du plomb de chasse dans une arme rayée, les plombs situés à la périphérie de la charge prennent la rayure, entraînent les plombs qui les touchent et communiquent ainsi à toute la charge le mouvement de rotation commandé par la rayure.

Les plombs sortent du canon animés d'une force centrifuge

d'autant plus grande qu'ils se trouvent placés plus loin de l'axe du canon. Cette force centrifuge augmente la dispersion initiale des plombs.

Les grains situés à la périphérie de la charge se disposent sur la circonférence d'un cercle dont le rayon est d'autant plus grand

Fig. 14.



Gerbe de plomb de chasse n° 2 tiré dans le fusil mod. 1874.

que le pas de la rayure est plus court. Les plombs situés près de l'axe du canon portent au centre du groupement.

La gerbe d'un coup de plomb n° 2 tiré dans le fusil modèle 1874 a un diamètre de $1^{m},20$ à la portée de 10^{m}. Le plomb n° 10 donne, à la même distance, une gerbe de $1^{m},40$. Les grains de ce numéro sont répartis sur trois zones concentriques assez distinctes. Le tir à plomb du fusil mod. 1874 est à peu près six fois plus dispersé que celui d'un canon choke-bored et quatre fois plus que celui d'un canon cylindrique non rayé.

XIII. — Tir à balle dans les fusils de chasse.

La balle sphérique du calibre exact est celle qui, dans un canon lisse, donne les meilleurs résultats. Le tir de cette balle, quoi qu'on fasse, n'est jamais bien brillant.

Dans les meilleures conditions de tir, on ne peut songer à loger 10 balles, si ce n'est par hasard, dans un carré de moins de 50^{cm} de côté, à la portée de 50^{m}. A 400^{m}, il faudrait un rectangle vertical de 30^{m} de côté pour contenir tous les coups.

Le tir d'une balle unique allongée dans un fusil lisse est toujours plus dispersé que celui de la balle sphérique.

Le tir à 2 balles est encore pire. A 50^{m}, tous les coups ne sont pas compris dans un carré de 1^{m} de côté. Le tir à 2 balles, et avec une charge un peu forte, fatigue en outre beaucoup les armes. 2 balles cylindriques pleines, ayant chacune deux calibres de longueur, tirées avec 4^{gr} de poudre, font à peu près sûrement éclater ou tout au moins gonfler un bon canon bien étoffé. Le tir à 2 balles est encore plus dispersé dans un canon rayé que dans un canon lisse.

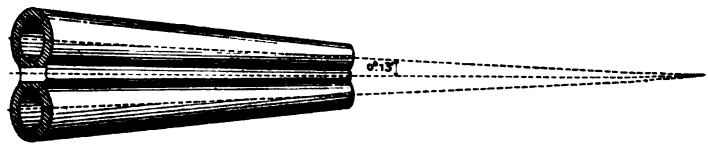
CHAPITRE VIII.

RÉGLAGE DES FUSILS.

I. — Convergence des canons.

Pour que les deux canons d'un fusil de chasse portent dans la même direction, il faut que ces deux canons fassent un certain

Fig. 15.



Vue des canons d'un fusil de chasse en dessus.

angle entre eux dans le plan horizontal; cet angle s'appelle la *convergence;* sa valeur se détermine par expérience.

Nous avons mesuré la convergence d'un fusil calibre 16, dont le tir se trouvait bien réglé en direction, avec une charge de 4^{gr}

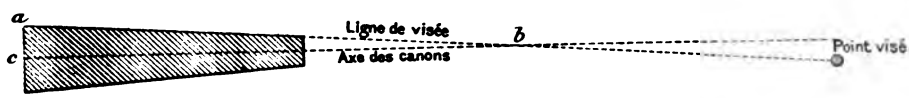
de poudre superfine. Nous avons ainsi trouvé que cet angle est de 13′ (tang 13′ = 0,00374).

Lorsque le canon droit de ce fusil porte au point visé, l'axe du canon est dirigé sur un point situé à $3\frac{mm}{7},4$ à gauche du point visé à la distance de 10^m. Le canon gauche est dirigé de la même quantité à droite.

II. — Angle de mire.

On pointe les armes de chasse en visant par l'arrière de la bande et le sommet du guidon. La ligne ainsi déterminée est à peu près parallèle aux génératrices supérieures des canons. Or, comme les canons sont plus épais au tonnerre qu'à la bouche, la ligne de visée ainsi déterminée fait dans le plan vertical un certain angle *abc* avec l'axe des canons.

Fig. 16.



Cet angle, assez variable suivant les armes, a été trouvé de 0°50′ pour un fusil calibre 16 qui porte à hauteur du point visé à la distance de 10^m, en tirant des cartouches chargées avec 4^{gr} de poudre superfine et avec 30^{gr} de plomb.

Pour qu'un fusil soit dans les meilleures conditions au point de vue du tir, on verra plus loin (chapitre des corrections de pointage) qu'il faut qu'à la distance de 10^m il porte 3^{cm} au-dessus du point visé et dans le plan vertical passant par ce point.

III. — Variation du réglage avec la charge de poudre.

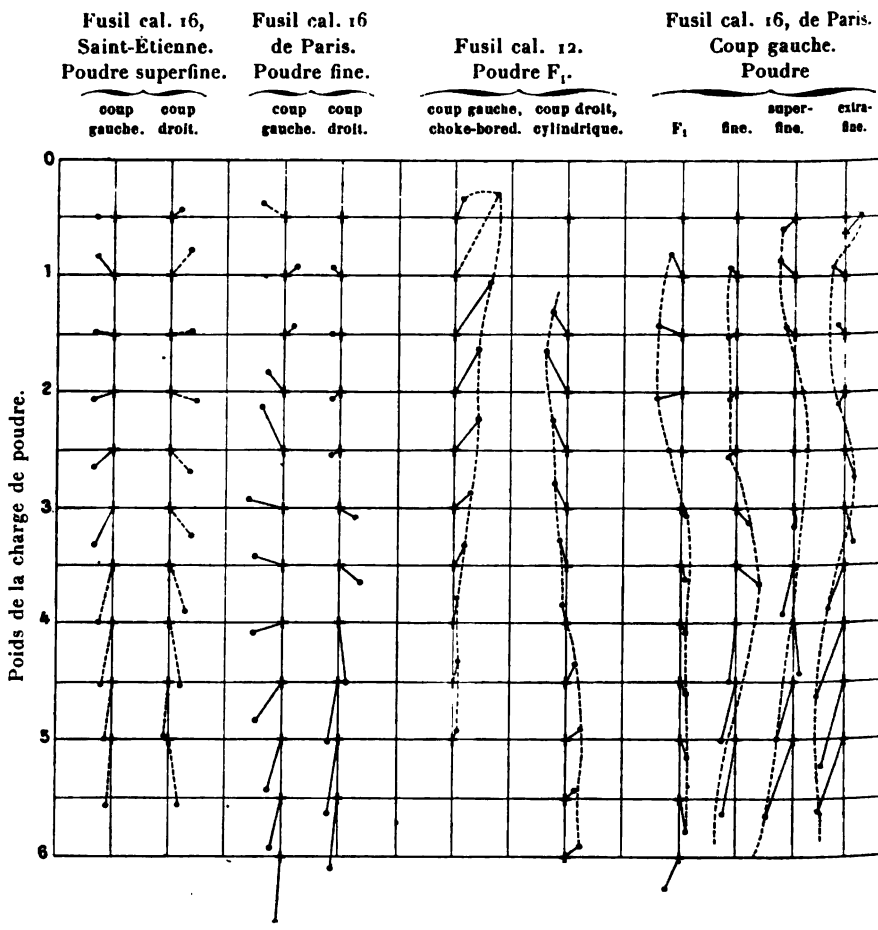
Lorsqu'on exécute des tirs avec des charges variables de poudre, on constate que le centre de la gerbe occupe une position constante et bien définie pour une même espèce de cartouches régulièrement faites, mais que cette position de la gerbe varie notablement avec la charge, ou plus exactement avec la vitesse des plombs.

Le graphique ci-dessous donne les positions relatives des points

visés et du centre des gerbes obtenues à 10^{m} avec trois fusils, différentes charges et différentes espèces de poudre.

Fig. 17. — GRAPHIQUE E.

Position relative des points visés et du centre des gerbes dans des tirs à charges variables faits à 10^{m} avec des fusils de chasse tirant à plomb.



\+ Point visé.
• Centre de la gerbe obtenu en visant.
+—• Point visé et centre de la gerbe correspondante.

Nous avons expérimenté de la même façon un très grand nombre d'autres fusils de chasse à bascule de divers systèmes et un fusil de

chasse à répétition système Spencer. Tous nous ont donné des résultats analogues à ceux reproduits ci-dessus. *Tous les fusils à bascule expérimentés portent, à partir d'une certaine charge, d'autant plus bas que la charge est plus forte.* Le fusil Spencer est dans les mêmes conditions.

La plupart des fusils calibre 16 portent en dessous du point visé à 10^{m}, quand la charge est supérieure à 3^{gr} de poudre superfine.

La moyenne des fusils calibre 12 porte sensiblement au-dessous du point visé, quand la charge dépasse 4^{gr} de poudre superfine.

La plupart des fusils calibre 16 à bascule se trouvent tellement mal réglés avec des charges un peu fortes que, si l'on vise exactement avec un canon choke-bored, toute la partie dense de la gerbe passe au-dessous du centre du but. C'est le défaut de réglage et l'habitude qu'ont les chasseurs d'essayer leurs fusils trop loin et sur des cibles trop petites, qui ne peuvent recueillir qu'une partie des plombs, qui ont fait croire à tant d'entre eux que le tir est plus ou moins serré suivant la charge de poudre. Il est évident que, si un fusil est très mal réglé avec de fortes charges, en tirant sur une cible petite et éloignée, on n'atteindra le but qu'avec une portion peu garnie de la gerbe. De là à conclure que la charge employée disperse le plomb, il n'y a qu'un pas pour ceux qui ne se rendent pas compte que la partie la plus garnie de leur gerbe a passé en dessous du but.

La plupart des fusils calibre 12 à bascule sont relativement mieux réglés aux fortes charges que les fusils calibre 16.

IV. — Causes des variations dans le réglage.

Les variations dans le réglage des fusils de chasse sont dues à l'influence des vibrations du canon. Il existe des moyens de prouver cette assertion; mais nous estimons que ce sujet ne doit pas être traité ici. Nous nous contenterons d'affirmer encore quelques faits, sans chercher à les justifier.

Les variations du réglage en hauteur sont dues surtout à l'inertie de la crosse et à son excentricité par rapport à l'axe du canon.

Les variations du réglage en direction sont dues en partie à la position excentrique de chaque canon par rapport au plan vertical de symétrie de l'arme. Ces variations sont aussi dues au manque

de rigidité de l'assemblage du canon et de sa fermeture dans les fusils à bascule.

L'influence du manque de rigidité de la fermeture est d'autant plus sensible que la poudre est plus vive. On trouvera une vérification de cette proposition dans l'examen des tirs d'un même canon faits avec diverses sortes de poudres de vivacité différente. (Voir graphique E.)

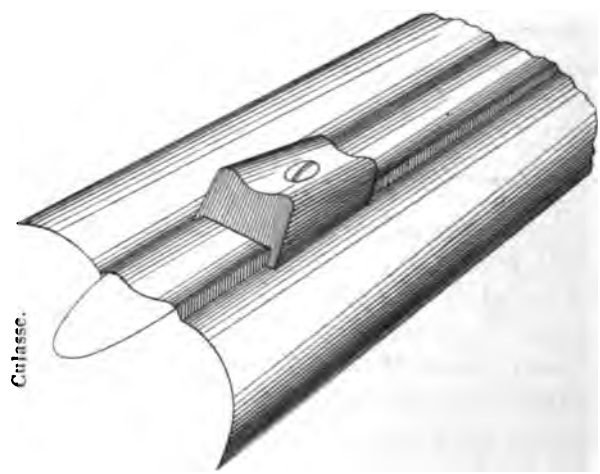
V. — Hausse corrigeant le défaut de réglage en hauteur.

Il n'est pas possible de faire un appareil pratique pour corriger les écarts de réglage en direction des fusils de chasse. Il est assez rare, du reste, que ces écarts aient une valeur suffisante pour influer sensiblement sur les résultats d'un tir de chasse. Nous avons dit, par contre, que la plupart des fusils calibre 16 sont tellement mal réglés en hauteur que tout coup bien pointé et bien groupé doit manquer le centre du but, ou ne peut l'atteindre que par les plombs éparpillés sur les bords de la gerbe.

Quand on aura constaté un défaut pareil dans un fusil, on pourra y remédier en lui adaptant une hausse.

Le modèle représenté ci-contre (fig. 18), placé sur plusieurs

Fig. 18.



fusils de chasse et maintenu sur la bande au moyen d'une a complètement satisfait ceux qui ont eu à l'employer.

Ce type laisse à la ligne de visée son aspect habituel. Le pointage rapide sur un objet en mouvement est aussi facile avec cette hausse qu'avec un fusil bien établi et sans hausse.

Pour déterminer la hauteur à donner à la hausse, on exécutera un tir à 10^{m}, on déterminera la position du centre de la gerbe. Une simple proportion fixera la hauteur à donner à la hausse. Cette hauteur s'est trouvée être de 5^{mm} à 7^{mm} pour la plupart des fusils calibre 16 que nous avons expérimentés.

Ce remède est applicable aux fusils déjà construits. Il est évident que les fabricants pourraient parer à ce défaut en surélevant la bande et en donnant plus de hauteur à la culasse. Quelques fabricants d'armes sont entrés récemment dans cette voie.

CHAPITRE IX.

I. — Corrections de pointage.

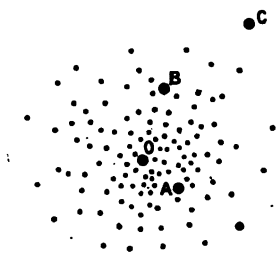
L'importance que nous venons d'accorder au bon réglage des fusils suffit à faire comprendre combien nous croyons peu à la possibilité, pour un chasseur, de tenir compte des défauts de réglage de son fusil en faisant des corrections de pointage. Malgré cela, nous pensons qu'il n'est pas complètement inutile à un chasseur de savoir qu'il ne suffit pas toujours de viser le centre du but avec un fusil bien réglé pour amener le centre de la gerbe sur le but.

Le chasseur *idéal* qui penserait à tout dans le temps qui s'écoule entre le moment où il aperçoit une pièce et celui où il doit faire partir le coup, et qui, de plus, aurait une organisation physique susceptible d'exécuter exactement le pointage voulu, ferait dans les diverses circonstances des corrections de pointage dont nous allons déterminer le sens et l'importance dans ce qui suit.

II. — Cas où la correction de pointage est utile.

Dans quel cas est-il utile, avec un fusil bien réglé, de faire des corrections de pointage pour tenir compte de la vitesse du but, de son éloignement ou encore de l'influence du vent?

Fig. 19.



Représentons (fig. 19) la section verticale d'une gerbe de

plomb : la correction sera inutile quand le but, visé directement, restera compris dans la partie dense de la gerbe en A, par exemple; la correction sera utile si, par rapport à la gerbe O, le but se trouve en B; la correction sera indispensable, pour que le coup produise de l'effet, si le but se trouve en C et le centre de la gerbe en O.

Pour déterminer l'utilité des corrections de pointage, il faut donc comparer la grandeur des corrections de pointage et le rayon de la gerbe correspondant à la même distance.

DURÉES DE TRAJET.

Le calcul des corrections de pointage nécessite la connaissance des durées de trajet. Nous donnons ci-après les durées de trajet des plombs n^{os} 2 et 11. Ces durées ont été mesurées avec un chronographe à diapason.

Vitesses initiales du plomb : n° 2 = 357^{m}, n° 11 = 345^{m}.

PORTÉES.	DURÉES DE TRAJET.	
	Plomb n° 2.	Plomb n° 11.
m	s	s
10	0,031	0,036
20	0,067	0,081
30	0,110	0,137
40	0,161	0,210
50	0,219	0,303
60	0,286	0,421
70	0,365	0,569
80	0,460	0,754
90	0,576	»
100	0,719	»
110	0,897	»
120	1,120	»

III. — Correction de pointage pour tenir compte de la vitesse du but.

Supposons le coup pointé exactement sur le centre d'un but en mouvement, animé d'une vitesse v, et soit t la durée de trajet

du plomb. Le but se déplacera de la quantité vt pendant le temps que le plomb met à arriver à hauteur du but, et le centre de la gerbe frappera en dehors du centre du but de la quantité vt. Donc, pour atteindre le centre du but, il faut viser en avant de ce point d'une quantité égale à vt.

La valeur de cette correction est donnée ci-dessous pour un but animé d'une vitesse de 15^m, vitesse qui est à peu près celle du lièvre et de la perdrix qui se sauvent.

PORTÉES.	VISER en avant d'un but ayant une vitesse de 15m de la quantité ci-dessous.		RAYON DE LA GERBE contenant 75 pour 100 des plombs.	
	Plomb n° 2.	Plomb n° 11.	Plomb n° 2.	Plomb n° 11.
m	m	m	m	m
10	0,04	0,05	0,07	0,10
20	0,10	0,12	0,20	0,27
30	0,17	0,21	0,36	0,55
40	0,24	0,32	0,56	1,0
50	0,33	0,45	0,87	1,5
60	0,43	0,63	1,20	2,2
70	0,55	»	1,60	»
80	0,69	»	2,10	»
100	1,10	»	»	»

Il convient toutefois de remarquer que la durée de trajet du plomb n'est pas le seul élément dont il faudrait tenir compte pour corriger le tir de la vitesse du but. Il y a d'autres causes d'erreur que nous allons signaler.

1° Le tireur *commande* à son doigt d'agir sur la détente quand son œil voit le coup bien dirigé. Or le doigt n'obéit pas instantanément quand l'œil juge l'arme bien pointée. Le doigt n'exécute ce qui lui est commandé qu'avec un retard qui est de $0^s,1$ à $0^s,3$. Ce temps est moindre pour des tireurs exercés que pour des tireurs novices; mais il ne saurait descendre au-dessous de $0^s,1$, notre constitution humaine ne le permet pas.

2° La détente doit parcourir plusieurs millimètres à une assez faible vitesse avant de déclencher la gâchette.

3° Le chien met $0^s,01$ à $0^s,1$ à s'abattre, suivant la force du ressort et le moment d'inertie du chien.

4° Il s'écoule 4 à 6 millièmes de seconde entre le moment où l'amorce est frappée et celui où la charge sort du canon.

L'ensemble de ces temps est rarement inférieur à $0^s,2$ et vient s'ajouter à la durée de trajet du plomb.

La correction pratique pour tenir compte de la vitesse du but est donc en moyenne égale à $v(t + 0^s,2)$. Le tableau ci-dessous donne les corrections de pointage à effectuer dans cette dernière hypothèse.

PORTÉES.	CORRECTION DE POINTAGE pour tenir compte de la vitesse d'un but $v = 15^m$.		RAYON DE LA GERBE contenant 75 pour 100 des plombs.	
	Plomb n° 2.	Plomb n° 11.	Plomb n° 2.	Plomb n° 11.
m	m	m	m	m
10	0,34	0,36	0,07	0,10
20	0,40	0,42	0,20	0,27
30	0,46	0,51	0,36	0,55
40	0,54	0,62	0,56	1,0
50	0,63	0,75	0,87	1,5
60	0,74	0,93	1,20	2,2
70	0,85		1,60	
80	0,99		2,20	
100	1,4			

Le tableau ci-dessus fait voir qu'aux petites distances il faut viser 40^{cm}, en compte rond, en avant d'une pièce de gibier en mouvement et 1^m aux grandes distances.

Cette correction de pointage est inutile quand le but se meut dans le sens de la ligne de tir; mais la correction de pointage est d'autant plus utile que la direction du mouvement du but se rapproche davantage de la perpendiculaire à la ligne de tir.

Plus le but est rapproché du tireur, plus la correction de pointage se trouve être relativement grande et plus elle a d'influence sur les résultats du tir.

A 20^m, en visant correctement le centre du but, on est certain de le manquer. Ces chiffres sont parfaitement d'accord avec la réalité des faits, et tout chasseur sait combien il est fréquent de manquer une pièce de gibier qui vous *part dans les jambes* quand on se presse pour tirer. En terrain découvert, le chasseur

très expérimenté laisse filer la pièce et ne cherche à la tirer que quand elle est à environ 30m.

Dans le tir de chasse, la correction de pointage tire son importance moins de la durée du trajet du plomb que de la lenteur des transmissions nerveuses.

IV. — Correction de pointage pour tenir compte de l'éloignement du but.

Lorsqu'un fusil de chasse se trouve exactement réglé en hauteur à la distance de 10m, il porte, aux autres distances, en dessous du point visé de quantités données par les colonnes 1 et 2 du tableau ci-dessous.

En réglant le fusil de telle sorte qu'il porte 3cm au-dessus du point visé à la distance de 10m, on verra, dans les colonnes 3 et 4, qu'à toutes les distances pratiques de tir le fusil se trouvera suffisamment réglé.

Cote verticale de la gerbe par rapport au point visé.

PORTÉES.	FUSIL dont le tir porte à hauteur du point visé à la distance de 10m.		FUSIL portant 0m,01 au-dessous du point visé à 10m.	
	Plomb n° 2. (1)	Plomb n° 11. (2)	Plomb n° 2. (3)	Plomb n° 11. (4)
m	cm	cm	cm	cm
10	0	0	Sup. 3	Sup. 3
20	Inf. 2	Inf. 3	4	3
30	5	8	3	0
40	12	21	Inf. 1	Inf. 9
50	23	44	9	30
60	40	86	22	70
70	59	1,30	38	
80	1,04		80	
90	1,60		1,30	
100	2,50		2,20	

En résumé, avec un fusil qui porte 3cm au-dessus du point visé à la distance de 10m, il n'y a pas de correction de pointage à faire pour tenir compte de l'éloignement du but dans les limites de portée où le fusil de chasse a quelque chance de tuer.

Une canardière de gros calibre destinée à tirer de fortes charges de gros plomb et pouvant produire de l'effet jusqu'à 100^{m} devrait être réglée de telle sorte que le centre de sa gerbe porte 10^{cm} au-dessus du point visé à la distance de 10^{m}. Les cotes du centre de la gerbe aux différentes distances seraient

PORTÉE.	PLOMB N° 2. Cote du centre de la gerbe.
	m
10	Supér. 0,10
20	0,18
40	0,27
60	0,20
80	Infér. 0,20
100	0,70

V. — Correction de pointage pour tenir compte de l'effet du vent.

On a déterminé l'effet du vent sur le plomb de chasse en tirant par un vent de travers dans deux directions opposées avec un même fusil et une même espèce de cartouches.

Déviation due au vent. Plomb n° 2.

PORTÉE.	DÉVIATION		RAYON DE LA GERBE UTILE (75 pour 100) d'un coup de plomb n° 2 dans un fusil choke bored.
	Vent moyen, vitesse 4^{m}.	Vent fort, vitesse 10^{m}.	
	m	m	m
20	0,04	0,1	0,20
30	0,12	0,3	0,36
40	0,24	0,6	0,56
50	0,40	1,0	0,87
60	0,68	1,7	1,20
70	1,00	2,5	1,60
80	1,32	2.3	2,20

La correction de pointage, pour tenir compte du vent, n'a d'importance qu'en direction. Dans ce sens, il est utile de tenir compte d'un vent moyen au delà de la portée de 20^{m}.

La déviation produite par un fort vent de côté est supérieure

au rayon de la gerbe efficace au delà de la portée de 40^{m}. Au delà de cette distance, on manquera donc à peu près sûrement toute pièce de grosseur moyenne pointée directement et située de telle sorte que le vent soit perpendiculaire à la ligne de tir.

CHAPITRE X.

ÉCARTS PERSONNELS DES TIREURS.

Les écarts personnels des tireurs peuvent varier dans des limites considérables suivant leur état nerveux.

Devant un fauve dangereux, devant une pièce inoffensive qui part inopinément, devant le danger ou dans la surprise, les nerfs se surexcitent, le tireur devient agité, et tout tireur expérimenté sait quels écarts énormes on peut commettre dans ce cas.

Que de cavaliers ont passé à quelques mètres de fantassins, ont été visés, tirés et manqués ! On n'a cependant pas souvent un gibier offrant une pareille surface.

Que de gens tirent des coups de revolver presque à bout portant et manquent leur homme !

Il est impossible de fixer la limite maximum des écarts d'un tireur agité; mais on connaît la limite minimum des écarts d'un tireur parfaitement calme tirant, soit posément, soit rapidement, sur des buts fixes ou mobiles.

Il n'a pas été fait d'expériences spéciales avec des fusils de chasse. Mais il en a été fait d'innombrables avec des fusils de guerre de tout modèle.

Ces tirs renseignent parfaitement sur les écarts que l'on fait dans le tir de chasse quand on tire sans trop se presser sur une pièce qui part bien.

En tirant sans émotion avec des fusils de guerre, en visant sommairement et en *lançant* le coup de fusil comme on le fait à la

chasse, on observe des écarts probables de $0^m,3$ à $0^m,7$ à la portée de 100^m. Ces écarts sont proportionnels à la distance : ils sont de 3^{cm} à 7^{cm} à la portée de 10^m. Les tireurs qui obtiennent 3^{cm} d'écart à 10^m peuvent être considérés comme exceptionnellement adroits.

Si l'on compare ces écarts à ceux de la gerbe de plomb, on voit que les écarts du chasseur peu exercé, tirant avec calme, sont souvent supérieurs à l'ouverture de la gerbe de plomb et qu'en général, dans le tir à bonne portée, le chasseur manque plus de gibier par sa faute que par celle de son armement.

CHAPITRE XI.

NOMBRE DE GRAINS DE PLOMB QUI FRAPPERONT UNE PIÈCE DE GIBIER DANS UN TIR COMPLÈTEMENT RÉGLÉ.

Nous avons admis que la surface de la silhouette offerte aux coups est :

Pour une caille	$4,3$	$\times$	$7 =$	30^{cm^2}
Pour une perdrix	$12,1$	$\times$	$7 =$	80
Pour un lièvre.....	35	$\times$	$12 =$	420

Partant de ces données et de la valeur de la dispersion des différents numéros du plomb donnée précédemment, nous avons calculé le nombre de grains de plomb qui atteindront le but dans un tir *parfaitement réglé,* autrement dit, dans un tir dont le centre de la gerbe correspond au centre du but. Nous avons supposé le poids du plomb de 30^{gr}. Si l'on avait en vue une charge d'un autre poids P, le nombre de grains qui toucheraient la pièce à une distance donnée serait égal à celui du graphique ci-dessous multiplié par $\frac{P}{30}$.

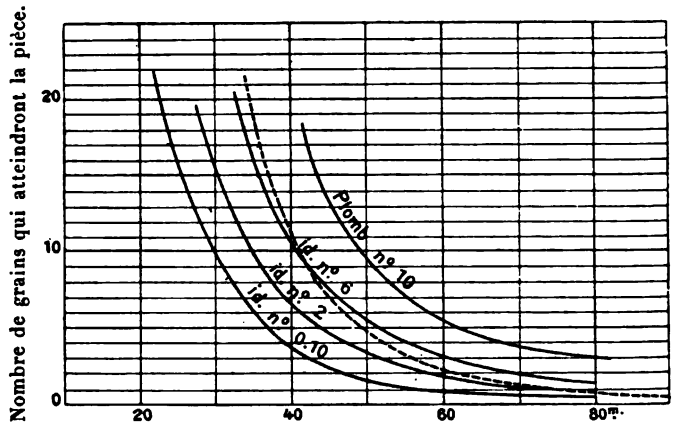
Nombre de grains de plomb d'une charge de 30gr qui atteindront une pièce de gibier aux différentes distances.

La ligne pointillée indique la limite de portée à laquelle chaque numéro de plomb cesse de faire des blessures sérieuses.

Lièvre.

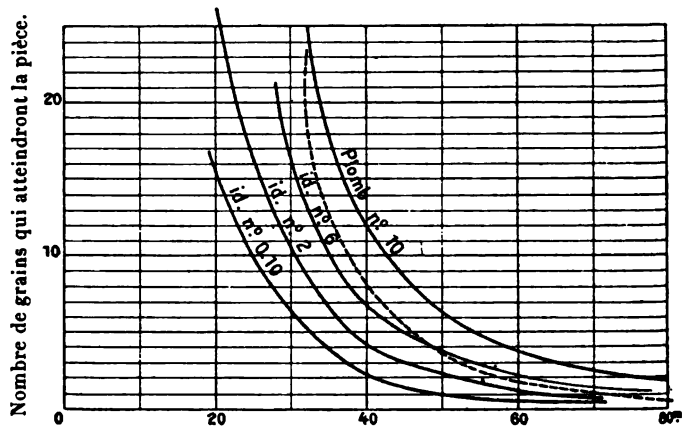
Surface 420cm,2.

Canon choke-bored.



Échelle des portées.

Canon cylindrique.



Échelle des portées

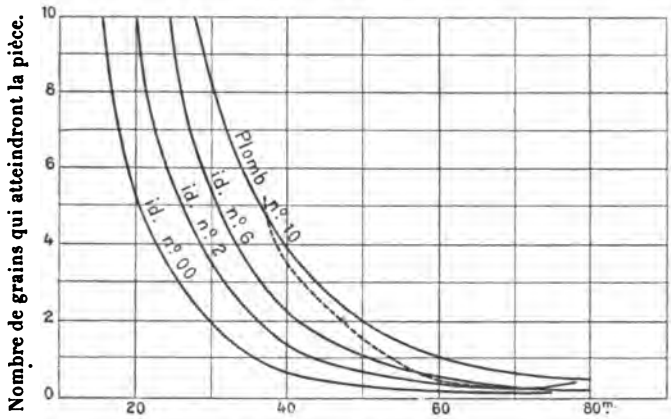
***Nombre** de grains de plomb d'une charge de 30^{gr} qui atteindront une pièce de gibier aux différentes distances.*

La ligne pointillée indique la limite de portée à laquelle chaque numéro de plomb cesse de faire des blessures sérieuses.

Perdrix.

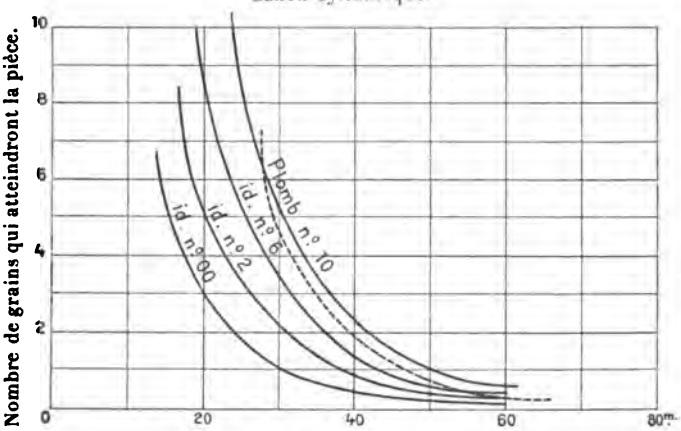
Surface 80^{cm},2.

Canon choke-bored.



Échelle des portées.

Canon cylindrique.



Échelle des portées.

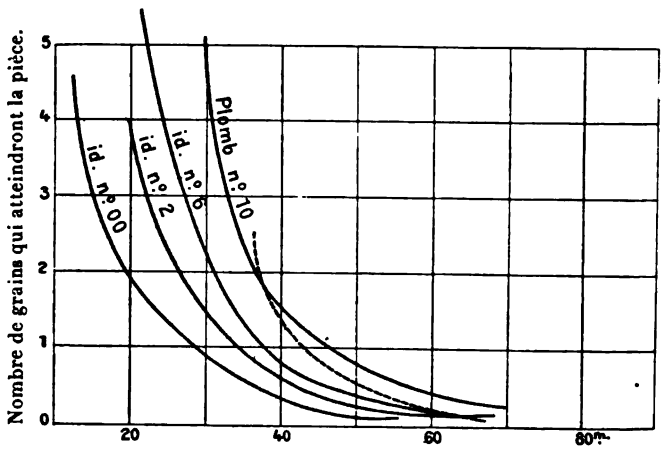
Nombre de grains de plomb d'une charge de 30^{gr} *qui atteindront une pièce de gibier aux différentes distances.*

La ligne pointillée indique la limite de portée à laquelle chaque numéro de plomb cesse de faire des blessures sérieuses.

Caille.

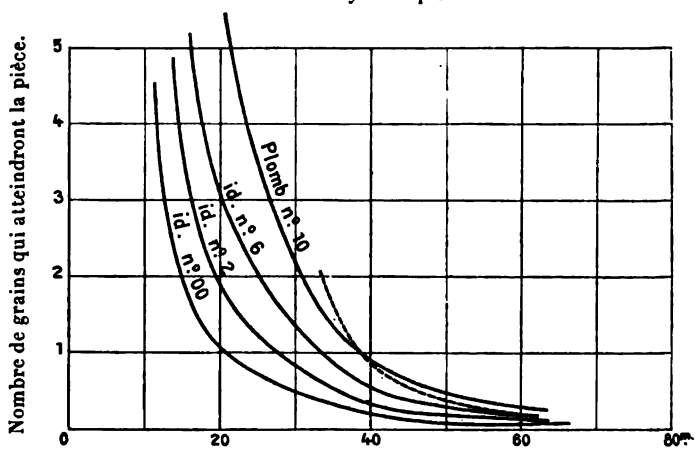
Surface 30^{cm},2.

Canon choke-bored.



Échelle des portées.

Canon cylindrique.



Échelle des portées.

On peut admettre qu'on ne rapportera généralement pas une pièce de gibier qui n'aura reçu qu'un plomb de grosseur appropriée, et qu'on tuera à peu près sûrement une pièce qui aura reçu deux plombs, pesant le $\frac{1}{5000}$ du poids de la bête, animés d'une bonne vitesse. Partant de cette donnée et du graphique des vitesses restantes, nous avons dressé le tableau ci-dessous, dans lequel, pour chaque but et chaque numéro de plomb, le chiffre de gauche représente la distance en dessous de laquelle on est à peu près sûr de pouvoir frapper avec au moins deux plombs animés d'une vitesse suffisante.

Dans ce même tableau, le chiffre de droite représente la distance au delà de laquelle on ne fera plus de blessures sérieuses parce que le plomb a trop peu de vitesse.

Distances limites au delà desquelles on peut tuer à peu près sûrement en tir réglé, et distances au delà desquelles on a fort peu de chance de produire le même résultat.

NUMÉRO du plomb animé de 375m de vitesse.	LIÈVRE.		PERDRIX.		CAILLE.	
	CANON					
	Choke-bored.	Cylindrique.	Choke-bored.	Cylindrique.	Choke-bored	Cylindrique.
00	45—	40—	30—	25	20—	15—
2	60—	50—	35—	30	25—	20—
6	—55	—55	40—	35	30—	25—
10	—35	—35	—40	—40	35—	30—

En résumé, les plombs les plus avantageux pour tirer aux grandes distances sont :

Le n° 2 à 6 pour le lièvre.
» 6 à 8 pour la perdrix.
» 8 à 10 pour la caille.

CHAPITRE XII.

PROCÉDÉS POUR POUVOIR TUER DE LOIN.

Le gibier devient, par sélection, de plus en plus sauvage. Ceux qui sont trop confiants finissent par disparaître sous les coups des chasseurs, il ne reste donc que la race des méfiants.

La sauvagerie croissante du gibier, tout au moins de certains gibiers, conduit les chasseurs à rechercher constamment le moyen de pouvoir tuer de plus en plus loin.

Nous allons examiner quels sont les moyens qui peuvent conduire à ce résultat. En premier lieu, nous ne nous occuperons que de l'utilisation des armes existantes, tirant le plomb comme on tire la mitraille dans les pièces d'artillerie. En second lieu, nous examinerons l'idée de l'obus à balle employé comme projectile de chasse.

I. — Armes tirant le plomb en mitraille.

Nous avons donné les limites de portée au delà desquelles chaque numéro de plomb cesse d'avoir un pouvoir meurtrier suffisant.

Le plomb n° 6, pour prendre un exemple, ne peut produire d'effet sérieux au delà de 60^{m}. Si l'on veut pouvoir tuer au delà de cette distance, il faut employer du plus gros plomb ; mais alors, pour une charge d'un poids donné, la gerbe est moins garnie, car le nombre des grains diminue sans que la dispersion diminue notablement. Avec du gros plomb tiré de loin, le gibier peut passer entre les grains. Avec une seule balle, on pourrait

tuer de très loin, mais on a encore moins de chance d'atteindre qu'avec du gros plomb.

Dans un fusil d'un calibre donné, on ne doit pas augmenter la charge de plomb sans augmenter simultanément la charge de poudre. Or il y a évidemment une limite qu'on ne peut dépasser sans compromettre la résistance ou le fonctionnement de l'arme et des étuis de cartouches.

Pratiquement, pour tirer de fortes charges de gros plomb, il faut un fusil de fort calibre.

Dans un fusil calibre 10 on peut mettre une charge $\frac{2}{3}$ plus forte que dans un fusil calibre 16. On peut donc, dans le calibre 10, tirer du plomb plus gros que dans le fusil calibre 16, tout en ayant le même nombre de grains et tout en ayant une gerbe aussi bien garnie à distance égale.

En résumé, quand on veut tuer le gibier de loin, il faut un fusil de fort calibre, tirant de fortes charges de gros plomb avec une grande vitesse initiale.

Les inconvénients de ce système sont d'avoir une arme et des munitions lourdes et coûteuses; on a, en outre, le désagrément d'un fort recul.

Si l'on pouvait faire de la grenaille en métal dur et dense, en platine par exemple, on pourrait tuer beaucoup plus loin qu'avec la grenaille de plomb. Mais tous les métaux denses et durs sont trop chers et trop difficiles à travailler pour que cette solution soit pratique.

II. — Propositions en vue du tir à très longue portée.

Quand on voudra accroître notablement la distance à laquelle il est possible de tuer le gibier, nous croyons que la seule solution susceptible de donner un fort accroissement de portée efficace consistera à copier ce qui s'est fait dans l'artillerie quand on a voulu pouvoir envoyer des gerbes serrées de petites balles bien au delà de la portée où il était possible de les envoyer en tirant à mitraille. On sera donc conduit à tirer, dans le fusil de chasse, le diminutif des obus à mitraille. La fusée de cet obus serait fusante; il serait désirable que ses écarts de durée ne dépassent pas $\frac{1}{50}$ de

seconde, ce qui, avec une vitesse restante de 300^{m}, correspondrait à des écarts de 10^{m} en portée sur le point où se produirait l'éclatement. Les fusées seraient réglées de façon à éclater à des portées déterminées et l'on aurait des munitions pour tirer à 80^{m}, 120^{m}, 160^{m}, ... De pareilles munitions ne sauraient coûter moins de 5^{fr} le coup. La question pécuniaire est la plus difficile des questions à résoudre pour réaliser cette idée.

Camp de Châlons, le 1er juin 1888.

COMMISSION DES SUBSTANCES EXPLOSIVES.

COMPTES RENDUS DES TRAVAUX

DE LA

COMMISSION

DES

SUBSTANCES EXPLOSIVES

(1883-1888) (1).

§ I.

RAPPORT GÉNÉRAL SUR LES TRAVAUX EXÉCUTÉS PENDANT L'ANNÉE 1883.

Ce rapport, établi conformément à l'art. 4 du décret constituant la commission des substances explosives, comprend les objets suivants :

1° *Analyse des rapports adressés au ministre pendant l'année* 1883;

2° *Revue des travaux en cours d'exécution.*

I. — Analyse des rapports établis dans l'année 1883.

RAPPORT N° 28. — *Sur la recherche d'un nouvel explosif pour les usages militaires.*

(2e section; rapporteurs : MM. HAFFEN et SEBERT.)

Par dépêche en date du 26 décembre 1882, le ministre de la guerre a invité la commission à lui faire connaître, le plus tôt

(1) Voir 1, 432, les *Comptes rendus* des travaux exécutés de 1878 à 1882.

possible, son avis motivé sur le meilleur explosif qui pourrait être, dès à présent ou à bref délai, substitué à la dynamite n° 1 pour les opérations militaires (dynamite à base inerte ou active, coton-poudre, nitromannite, etc.).

La commission a pensé que, tout en se réservant d'entreprendre des recherches destinées à compléter les renseignements qui pouvaient être fournis au ministre de la guerre, il y avait lieu d'établir, sans retard, un premier rapport exposant l'état des études de la commission, sur les différents points qui se rattachent à la question posée par le ministre.

Le rapport (1) rappelle que, dès 1878, à la demande du ministre de la marine, la commission a dû rechercher s'il était possible de constituer, en faisant usage du coton-poudre comprimé, fabriqué par le procédé Abel, des cartouches de rupture susceptibles d'être substituées, pour les opérations militaires, aux cartouches de dynamite en usage au département de la guerre.

De nombreuses expériences, résumées dans un rapport en date du 7 août 1879 (2), ont conduit la commission à proposer un type de cartouche étanche de coton-poudre sec, susceptible de remplacer le pétard de dynamite de 100^{gr} adopté pour la cavalerie. Après une série d'essais dans les différents services de la marine, l'emploi de ces cartouches a été rendu réglementaire pour les corps de troupe et les compagnies de débarquement, et les renseignements recueillis depuis leur mise en service montrent que ce matériel est d'un emploi commode et pratique.

Le rapport discute l'importante question de la stabilité du coton-poudre préparé par les procédés Abel, et il établit que l'expérience acquise depuis 1875, au département de la marine, permet d'affirmer que le coton-poudre, même à l'état sec, présente une sécurité au moins égale à celle de la dynamite. Ce produit a d'ailleurs, sur ce dernier explosif, l'avantage de mieux résister aux variations de température, et l'on n'aurait à se préoccuper avec lui ni des dangers d'exsudation ni du danger de congélation.

Dans ces conditions, et sans vouloir préjuger la question de

(1) Voir ci-dessus, p. 174.
(2) Voir 1, 109.

savoir si les motifs mentionnés dans la lettre du ministre de la guerre doivent avoir, dès maintenant, pour conséquence de faire abandonner la dynamite pour les usages militaires, la commission croit pouvoir dire que l'adoption du coton-poudre, employé au besoin à l'état sec, peut permettre de constituer immédiatement des cartouches de rupture susceptibles d'être substituées, poids pour poids et dans les mêmes conditions d'emploi, aux cartouches ou aux pétards de dynamite actuellement réglementaires.

Le rapport examine ensuite les inconvénients communs au coton-poudre et à la dynamite et résidant spécialement dans leur sensibilité sous le choc de la balle. Il rend compte de l'état des travaux entrepris par la commission, sur le coton-poudre paraffiné, la dynamite camphrée, la dynamite-paille et la nitromannite; mais ces études n'ont pas été poussées assez loin pour que la commission puisse se croire en mesure d'émettre un avis formel sur la possibilité de la substitution de ces produits à la dynamite.

RAPPORT N° 29. — *Sur la demande d'autorisation formulée par* M. LEVALLOIS, *à l'effet de fabriquer, vendre et transporter les explosifs dits* panclastites, *inventés par* M. Eugène TURPIN.

(1re section; rapporteur M. LIOUVILLE.)

Par dépêche du 2 janvier 1883, le ministre de la guerre a soumis à l'examen de la commission des substances explosives une demande formulée par M. LEVALLOIS, à l'effet d'obtenir l'autorisation de fabriquer, vendre et transporter divers explosifs désignés sous le nom de *panclastites* et consistant essentiellement dans le mélange de l'acide hypoazotique liquide ou peroxyde d'azote et de divers combustibles, également liquides, tels que le sulfure de carbone et l'essence minérale (1).

La composition de ces mélanges a été indiquée d'abord d'une façon générale et, postérieurement, précisée par l'inventeur, sur la demande de la commission.

Les résultats des recherches étendues exécutées sur les divers types définitivement soumis par l'inventeur à l'examen de la com-

(1) Voir 1, 476.

mission ont été consignés dans un rapport technique qui sera analysé plus loin, et qui a fourni les éléments nécessaires à l'exécution de la question posée par le ministre.

Les questions soulevées par la demande d'autorisation étaient les suivantes :

1° *Les panclastites sont-elles des composés explosifs nouveaux?*

2° *S'il en est ainsi, y a-t-il lieu d'en autoriser la fabrication, la vente et l'emploi, et dans quelles conditions l'État peut-il donner une semblable autorisation?*

3° *Quelle est la quotité de l'impôt qui devrait frapper ces explosifs?*

Sur le premier point, la commission a été d'avis que les panclastites constituent bien une invention nouvelle et satisfont, en conséquence, à la condition imposée par la loi du 8 mars 1875.

Sur le deuxième point, elle a constaté que les expériences consignées dans le rapport technique ne permettent pas de déterminer les conditions de transport et de conservation des panclastites, mais qu'elles établissent que la préparation des panclastites ne comporte pas de dangers supérieurs à ceux qui naissent de la préparation de la nitroglycérine, dont le gouvernement a autorisé la fabrication et l'emploi sur place sous des conditions déterminées.

En conséquence, la commission a émis l'avis que l'État pouvait autoriser la fabrication sur place et l'emploi immédiat des panclastites soumises par l'inventeur à l'examen de la commission, à la condition de déterminer, par un règlement spécial, les précautions à observer dans la fabrication et l'emploi.

Sur le troisième point, la commission a constaté que les expériences assignent, dans la pratique, aux panclastites et à la dynamite ordinaire, une puissance sensiblement équivalente lorsqu'elles sont employées dans les conditions les plus avantageuses, et elle a émis l'avis qu'il y aurait lieu d'appliquer à ces explosifs le même impôt qu'à la dynamite.

RAPPORT N° 30. — *Sur la mesure de la force explosive du coton-poudre, par la détermination des quantités de chaleur et l'analyse des gaz produits.*

(Étude confiée à MM. SARRAU et VIEILLE; rapporteur : M. VIEILLE.)

Cette étude a été entreprise à la demande du ministre de la marine, dans le but de trouver un procédé pratique permettant d'obtenir une évaluation des propriétés explosives du coton-poudre, de façon à pouvoir joindre une épreuve de ce genre aux épreuves de recette déjà en usage, lesquelles ne comprennent, jusqu'à ce jour, que des déterminations des caractères physiques et chimiques de ce produit.

Différentes méthodes ont été expérimentées par la commission. Le présent rapport concerne l'étude n° 1 C, dont l'objet était de mesurer la force explosive du coton-poudre par la détermination des quantités de chaleur ou l'analyse des gaz provenant de la décomposition de cet explosif.

Cette méthode est indirecte : elle consiste à substituer à la détermination de la force explosive celle d'un élément facilement mesurable dépendant de la composition de l'échantillon; mais le procédé suppose qu'on a établi une fois pour toutes la relation qui lie à la puissance explosive l'élément qui fait l'objet des mesures.

Or le taux de nitrification du coton-poudre peut être obtenu par une opération simple et rapide, avec l'approximation voulue, en mesurant le volume de bioxyde d'azote que dégage 1^{gr} de coton-poudre attaqué par les sels de fer au minimum en présence de l'acide chlorhydrique. D'autre part, il a été établi que les pressions développées en vase clos par le coton-poudre décroissent plus rapidement que le taux de bioxyde d'azote, lorsque le degré de nitrification de la substance s'abaisse. Cet élément est donc en relation étroite avec la puissance explosive et peut servir à la mesurer.

En conséquence, la commission propose de mettre en essai cette nouvelle épreuve, à l'usine du Moulin-Blanc, comparativement aux épreuves réglementaires.

RAPPORT N° 31. — *Sur l'étude de la panclastite.*

(1re section; rapporteur : M. LIOUVILLE.)

La commission des substances explosives a été saisie de l'étude

de la panclastite, par une dépêche du ministre de la guerre en date du 10 janvier 1882, et, le 4 mai suivant, elle a présenté un premier rapport (1) relatif à l'explosif formé par le mélange de sulfure de carbone et de peroxyde d'azote, exclusivement visé par la dépêche ministérielle. Depuis cette époque, les nouvelles recherches entreprises par M. Turpin l'ont amené à découvrir et à proposer de nouveaux mélanges destinés aux usages militaires ou industriels dont l'étude a été soumise à la commission le 7 avril 1883.

Les recherches de la commission ont porté sur tous ces mélanges, et elle a étendu ses essais, à titre de comparaison, aux explosifs déjà connus, tels que nitroglycérine, dynamite, coton-poudre et nitromannite. Au cours de ses recherches, la commission s'est trouvée appelée, pour la première fois, à se prononcer sur la quotité de l'impôt qui doit frapper un explosif, eu égard à sa puissance relativement à la poudre de mine ou à la dynamite.

La commission a dû se préoccuper de rechercher une épreuve pratique permettant d'évaluer cette puissance relative dans les conditions normales d'emploi. Le rapport indique les diverses méthodes essayées par la commission et discute les résultats obtenus, qui conduisent à des classements très différents des explosifs. Certaines épreuves mesurent, en effet, à peu près exclusivement les propriétés brisantes de l'explosif, et n'ont de valeur que pour la prévision des effets obtenus par la détonation des explosifs à l'air libre, mode d'emploi rarement usité dans la pratique industrielle. La mesure des pressions développées en vase clos ne tient, au contraire, aucun compte de la vivacité de la décomposition de l'explosif, et le classement auquel conduit cette mesure n'aurait de valeur, au point de vue de l'emploi dans les mines, que si le bourrage avait une résistance comparable à celle des parois des trous de mines.

La commission s'est arrêtée à un mode d'épreuve intermédiaire, dans lequel la substance détone, sous un bourrage faible formé par une colonne d'eau, à l'intérieur d'un bloc de plomb de grande masse. Le volume de la chambre formée dans l'intérieur du bloc par l'explosion est pris comme mesure de la puissance de l'explosif.

(1) Voir 1, 473.

Ce procédé classe les panclastites, pour les meilleures conditions de leur emploi, sur le même rang que la dynamite à la kieselguhr, à 75 pour 100 de nitroglycérine.

Les recherches de la commission ont également porté sur la sensibilité au choc des panclastites comparée à celle des autres explosifs.

Sur ce point également, la commission a dû procéder à de nombreux essais portant sur les conditions d'expérience permettant d'obtenir une plus grande précision dans les résultats.

Ces résultats ont mis en évidence la résistance remarquable au choc de certaines panclastites, telles que les panclastites au pétrole. Elles ont confirmé les premières conclusions de la commission concernant le mélange de sulfure de carbone et de peroxyde d'azote, dont l'emploi à l'état liquide présente les mêmes dangers que la nitroglycérine pure.

Enfin les conditions de fabrication de tous les mélanges ont été étudiées avec soin, et le rapport signale la sécurité relative qu'offre la préparation des mélanges qui se font sans élévation de température; mais il insiste toutefois sur les dangers qui résultent de la manipulation des matières volatiles délétères ou inflammables. La question de la conservation des panclastites a été réservée, les expériences en cours étant trop récentes pour conduire à une conclusion.

RAPPORT N° 32. — *Sur une demande d'avis concernant les propriétés explosives du coton azotique de Paulilles.*

(1re section; rapporteur : M. VIEILLE.)

Le ministre de la guerre a invité la commission des substances explosives, par dépêche en date du 5 juin 1883, à lui faire connaître son avis sur la question de savoir si le coton azotique employé à Paulilles, pour la préparation des dynamites-gomme ou gélatinées, doit être assimilé à un explosif.

Les expériences de la commission ont porté sur un échantillon provenant de Paulilles : elles ont montré que cette matière possède un degré de nitrification intermédiaire entre celui du coton-poudre de guerre et celui des cotons azotiques du commerce destinés à la fabrication du collodion. Or la commission a établi,

par des recherches antérieures, que les propriétés explosives et détonantes du coton-poudre de guerre subsistent dans ces derniers produits, malgré leur faible nitrification, lorsqu'ils sont à l'état sec : il est donc hors de doute qu'à cet état le coton azotique de Paulilles doive être considéré comme un explosif en tout assimilable au coton-poudre de guerre.

MODIFICATIONS DANS L'ORGANISATION INTÉRIEURE DE LA COMMISSION.

Pour faciliter la réunion des sous-commissions chargées des différentes études, et en présence des changements survenus dans le personnel des membres qui la composent, la commission a été amenée, au commencement de l'année, à opérer un remaniement général de ces sous-commissions.

En étudiant les meilleures dispositions à adopter pour faciliter l'expédition des affaires, elle a pensé qu'il y aurait avantage à constituer des sections permanentes, se réunissant à jours fixes et entre lesquelles les travaux seraient distribués selon leur nature.

Ces sections ont été constituées au nombre de trois.

La première est chargée des études d'ordre général ou d'un caractère plus spécialement scientifique; la deuxième s'occupe de l'application des explosifs aux opérations de guerre et de mine, et la troisième s'occupe de l'application des explosifs au tir des armes à feu.

Éventuellement, une affaire peut être confiée simultanément ou successivement à deux sections.

La répartition des membres de la commission et la distribution nouvelle des études entre les trois sections ont été effectuées dans la séance du 1er mars 1883, et les sections ont choisi, chacune dans son sein, un vice-président.

Observations générales au sujet des demandes d'autorisation pour la fabrication de nouveaux explosifs.

Dans son rapport annuel de 1882 (1), la commission avait appelé l'attention sur le nombre croissant des demandes en autorisation de fabrication de nouveaux explosifs qui lui étaient soumises, et elle avait signalé

---

(1) Voir 1, 476.

l'utilité de prendre des mesures pour lui faciliter l'examen de ces questions, en même temps que pour guider les intéressés dans les démarches à faire pour obtenir, à leur profit, le bénéfice de l'application de l'art. 7 de la loi du 8 mars 1875.

Elle avait émis le vœu que, dans ce but, on mît le plus tôt possible en application le règlement général, préparé par la commission spéciale qui a été réunie en 1880 au ministère du commerce, et dont les dispositions ont pour base la création d'un service d'inspection des explosifs, qui aurait dans ses attributions les enquêtes et études à faire sur les explosifs nouveaux.

Le nombre des questions du même genre, soumises pendant l'année 1883 à la commission des substances explosives, n'a fait que confirmer ses prévisions, et elle ne peut que renouveler le vœu dont il s'agit, en insistant sur l'urgence de prendre des mesures dans ce sens.

II. — Revue des travaux en cours d'exécution.

ÉTUDE N° 1.

Recherche d'un procédé d'épreuve des propriétés explosives du coton-poudre.

(1re et 2e Section.)

Dans le rapport annuel de 1882 (1), la commission avait signalé que l'une des méthodes expérimentées par elle, en vue de trouver un procédé d'épreuve des propriétés explosives du coton-poudre, pouvait, en ayant recours à une méthode particulière de dosage de l'azote, fournir une solution indirecte de la question.

Elle a, en conséquence, dans un rapport en date du 5 juillet 1883 (2), émis l'idée que cette méthode pourrait remplacer avec avantages les épreuves habituelles de solubilité.

Par une lettre du 27 juillet 1883, M. le ministre de la guerre a fait connaître qu'il mettait ce procédé à l'étude à la poudrerie du Moulin-Blanc.

En attendant qu'il soit pris une décision au sujet de l'adoption éventuelle de cette méthode, la commission a continué ses recherches sur les autres procédés qui pourraient être appliqués à la

---

(1) Voir 1, 479.

(2) Voir ci-dessus, p. 577.

détermination dont il s'agit; mais, jusqu'à ce jour, ces études n'ont conduit à la découverte d'aucune autre méthode qui paraisse d'une application pratique et sûre.

ÉTUDE N° 2.

Emploi du coton-poudre aux opérations de guerre.

(2e Section.)

L'une des objections qui peuvent être formulées au sujet de l'emploi du coton-poudre, pour les opérations de guerre, consiste dans la difficulté de se rendre compte, à tout instant, de l'état de conservation de ce produit quand il est renfermé dans les cartouches de rupture.

Soit, en effet, qu'on fasse usage du coton-poudre sec, soit qu'on emploie le coton-poudre humide, il faut toujours que la fermeture soit hermétique pour empêcher, dans le premier cas, l'introduction de l'humidité ou pour assurer, dans le second, la conservation du taux adopté.

De là la nécessité d'employer des cartouches pourvues d'un couvercle luté, et qu'il est difficile d'ouvrir et de refermer sans risquer d'en compromettre l'étanchéité.

Bien que la commission ait eu connaissance de l'adoption, pour les troupes du ministère de la marine, du type de cartouche étanche en laiton, qu'elle a proposé en 1879 (1), elle n'a pas cru devoir s'abstenir de poursuivre ses recherches en vue d'améliorer encore, s'il est possible, l'emploi de ce matériel de rupture, et elle a mis à l'étude un nouveau type d'enveloppe en celluloïde, proposé, pour cet usage, par M. Boca.

Le celluloïde permet de confectionner des enveloppes minces et translucides, formées de parties obtenues par emboutissage et susceptibles d'être fermées hermétiquement par l'emploi d'une dissolution de la même substance, qui peut se souder fortement sur elle-même.

Ces enveloppes, absolument étanches et laissant voir la matière

---

(1) Voir 1, 110.

qu'elles contiennent, permettent même d'observer la coloration d'une bande de papier tournesol placée au contact de cette matière; elles donnent donc le moyen de suivre constamment l'état de conservation de la substance explosive hermétiquement emprisonnée.

Les douilles destinées à recevoir l'amorce peuvent être formées de tubes de celluloïde préparés par étirage ou de tubes métalliques soudés au couvercle au moyen encore de celluloïde liquide. On peut donc obtenir ainsi des cartouches entièrement analogues aux cartouches réglementaires de la marine, mais jouissant, en outre, de la propriété de laisser voir la substance qu'elles renferment.

Il reste à savoir si ces enveloppes présenteront une résistance suffisante pour être d'un emploi pratique, si leur conservation sera assurée et, enfin, si leur facile inflammabilité ne sera pas un obstacle à leur usage.

La commission des substances explosives se propose de faire ces recherches sur un certain nombre de cartouches remplies les unes de coton-poudre sec, les autres de coton-poudre humide.

Elle se propose aussi de rechercher si l'emploi du celluloïde, pour constituer l'enveloppe de petites cartouches d'amorce en coton-poudre sec, ne donnerait pas la possibilité de faire usage de charges composées en majeure partie de coton-poudre humide et amorcées au moyen de coton-poudre sec, les charges d'amorce pouvant être conservées à part en temps de paix et n'être réunies aux cartouches de rupture, chargées de coton-poudre humide, qu'au moment de la délivrance, en temps de guerre, en ayant recours pour faire la soudure à l'emploi du celluloïde liquide.

ÉTUDE N° 3.

Emploi du coton-poudre dans les mines.

(1re Section.)

La commission a résumé, dans son rapport de l'année précédente (1), les résultats auxquels elle était arrivée par la compa-

(1) Voir 1, 481.

raison des explosifs usuels et du coton-poudre pur ou nitraté, et elle a signalé les propriétés remarquables du coton-poudre au nitrate d'ammoniaque, tant au point de vue de la puissance qu'au point de vue de l'innocuité des produits de la décomposition et du prix de revient.

Dans le cours de l'année 1883, les essais ont porté principalement sur la conservation du produit et sur les dispositions propres à assurer sa conservation à l'état sec.

On a essayé divers systèmes d'enduits à base de paraffine, de caoutchouc ou de goudron : quelques-uns ont donné de bons résultats. Dans de nouveaux essais, la commission expérimentera des cartouches formées de feuilles minces de celluloïde, dont l'emploi vient d'être proposé au ministère de la marine pour la confection de gargousses étanches.

ÉTUDE N° 4.

Étude des tubes détonants.

(2e Section.)

La commission a fait, pendant l'année 1883, de nombreux essais pour constater la qualité des échantillons de tubes détonants fabriqués au Moulin-Blanc, pour l'exécution des commandes faites par les services militaires.

Ces échantillons n'ayant pas tout d'abord montré, dans ces essais, une sensibilité suffisante, et des insuccès analogues, obtenus dans les expériences faites par les divers services, risquant de jeter un discrédit fâcheux sur l'emploi de ces engins qui peuvent, dans de bonnes conditions de fabrication, rendre de si utiles services, la commission a été amenée, à la date du 23 juin 1883, à demander au ministre que la fabrication des tubes détonants préparés par l'usine du Moulin-Blanc fût, jusqu'à nouvel ordre, limitée à des tubes de $5^{mm},5$ de diamètre extérieur. Sous cette dimension les tubes, pour une même composition de chargement, conservent, en effet, plus de sensibilité et sont d'un emploi moins délicat et plus facile.

En même temps que l'usine se conformait à cette recommandation, que le ministre avait bien voulu lui transmettre, elle recher-

chait les méthodes à employer pour améliorer la fabrication des pyroxyles friables, et mettait en service des appareils nouveaux dont elle venait d'être dotée, en vue de réaliser les améliorations réclamées à la suite de la mission de M. Aimé GIRARD.

La commission a reçu communication de notes intéressantes, de MM. les ingénieurs GUINOT et LOUPPE, sur les précautions qui ont été prises successivement pour arriver à régler la marche des opérations. Ces précautions paraissent avoir, entre les mains de M. LOUPPE, amené enfin le résultat cherché; car les essais faits sur les derniers échantillons de tubes détonants reçus par la commission ont montré que la fabrication paraissait devenue assez sûre pour qu'on pût mettre en service, sans crainte de mécompte, les lots de tubes détonants récemment préparés, au diamètre de $5^{mm},5$ et portant les n^{os} 3 à 11.

La commission a fait connaître ces résultats au ministre, par lettres en date des 21 et 29 novembre 1883; elle a pu même ajouter que la fabrication du pyroxyle à l'hydrocellulose employé pour la confection de ces tubes lui paraissait actuellement assez améliorée pour qu'il fût possible de pousser, au moins à titre d'essai, avec ce produit, l'étirage des tubes jusqu'au diamètre de 4^{mm}, en expérimentant comparativement l'emploi du plomb et de l'étain pour la constitution des enveloppes.

ÉTUDE N° 6.

Étude de l'action du camphre et des produits analogues sur les composés explosifs azotés.

(1re et 2e Section.)

Dans une lettre adressée au ministre le 26 février 1883, la commission avait demandé l'envoi de nouveaux échantillons de dynamite camphrée analogues à ceux préparés antérieurement par la poudrerie de Vonges et contenant des proportions variables de camphre.

Elle avait demandé que des essais d'incorporation de camphre au coton-poudre fussent aussi entrepris au Moulin-Blanc. Deux lettres du ministre, en date des 24 mars et 21 mai, ont fait connaître que des ordres avaient été donnés dans ce sens.

La commission a reçu, au mois de juin, les échantillons de dynamite camphrée, et elle a pu s'assurer que les cartouches à 20 pour 100 de camphre, au moins pendant la saison chaude, détonent encore sous l'influence de la capsule fulminante réglementaire, à charge de $1^{gr},5$, et semblent, au contraire, présenter assez peu de sensibilité pour ne pas détoner sous le choc de la balle. Toutefois, ces expériences devront être répétées par des temps froids avant de pouvoir formuler une opinion favorable, relativement à l'emploi de dynamites camphrées pour les usages militaires.

En ce qui concerne l'incorporation du camphre dans le coton-poudre, la commission n'a reçu encore aucun renseignement sur les essais qui doivent être en cours d'exécution au Moulin-Blanc.

Elle a entrepris, au laboratoire du dépôt central des poudres, quelques essais sur les procédés qui pourraient être adoptés pour réaliser cette incorporation. On a réussi à préparer ainsi de petites cartouches-amorces, d'aspect satisfaisant, en effectuant le mélange du coton-poudre et du camphre avec l'aide d'un peu d'éther comme dissolvant.

On attend, pour les expérimenter, que tout l'éther ait disparu par évaporation, ce qui exige un temps assez long.

ÉTUDE N° 8.

Étude du coton-poudre paraffiné.

(2e Section.)

Par lettre du 26 février 1883, la commission avait demandé la préparation de cartouches de 100^{gr} de coton-poudre paraffiné, aux taux de 5, 10, 15 et 20 pour 100 de paraffine, préparé, s'il était possible, par incorporation à sec de la paraffine et du coton-poudre sous les meules, en vue d'obtenir, avec des produits à dosages réguliers, les qualités de compacité et d'homogénéité que l'on obtient dans la préparation à chaud. Les échantillons à 5 pour 100 devaient permettre de rechercher si, avec cette faible proportion de paraffine, le coton-poudre ne conserverait pas la faculté de détoner directement sous l'action de l'amorce fulminante réglementaire, tout en présentant encore les qualités habituelles du

coton-poudre paraffiné, et notamment la propriété de ne pas faire explosion sous le choc de la balle.

Les échantillons préparés au Moulin-Blanc, à la suite de cette demande, ne sont parvenus à la commission que dans le mois d'octobre. L'incorporation de la paraffine au coton-poudre a dû, pour éviter tout danger, être effectuée avec addition d'eau, sous les meules légères, mais les cartouches prismatiques obtenues par compressions ont été ensuite séchées à l'étuve pour faire disparaître l'eau incorporée.

Les expériences faites par la commission sur ces échantillons ont montré que le coton-poudre à 5 pour 100 de paraffine peut détoner directement sous l'influence de l'amorce réglementaire; au contraire, le coton-poudre à 10 pour 100 de paraffine exige l'emploi d'une petite cartouche-amorce auxiliaire qui peut, par exemple, être constituée au moyen de coton-poudre sec.

Il reste à vérifier si le coton-poudre à 5 pour 100 de paraffine détone sous le choc de la balle.

ÉTUDE N° 16.

Étude du fulmi-son.

(2e Section.)

La commission des substances explosives a été saisie de cette étude par dépêches ministérielles des 4 juin et 23 octobre 1880.

Tout en reconnaissant aux dynamites à base de fulmi-son une partie des avantages qui leur étaient attribués, notamment une facilité d'exsudation et de détonation au choc des balles moindre que pour la dynamite ordinaire, la commission leur a trouvé quelques inconvénients, et surtout une altérabilité qui n'a pas permis de conseiller leur adoption comme explosifs de guerre.

ÉTUDE N° 23.

Étude des poudres au picrate d'ammoniaque.

(3e Section.)

La commission a fait pendant l'année, avec le concours du laboratoire central de la marine, des essais de tir des poudres au

picrate d'ammoniaque, en enregistrant la loi du recul de l'arme, au moyen du vélocimètre, afin de pouvoir déterminer, comparativement avec la poudre noire, la loi du développement des pressions dans l'âme.

Les tirs ont eu lieu, dans le fusil modèle 1874, avec des poudres préparées à la poudrerie du Bouchet; dans les canons de 90^{mm} et de $0^{m},10$ de la marine, avec des poudres préparées par la poudrerie de Sevran.

Les essais faits dans les canons ont mis en évidence la nécessité d'assurer, par un moyen spécial, la conservation du taux exact d'humidité qui convient pour obtenir le meilleur effet de la poudre au picrate d'ammoniaque.

Cette poudre perd, en effet, avec une trop grande facilité, dans les circonstances ordinaires, la proportion d'humidité qu'il convient de lui donner pour éviter le développement de trop fortes pressions.

La commission se propose d'étudier simultanément l'emploi des deux méthodes qui se présentent à l'esprit pour réaliser le résultat cherché; savoir l'emploi d'enveloppes étanches pour les gargousses, et l'emploi de matières isolantes enveloppant les grains ou même de matières agglutinantes incorporées non hygrométriques.

Dans le premier système, elle se propose d'expérimenter l'emploi des gargousses étanches en celluloïde, déjà proposées, par M. Boca, pour l'usage de la poudre ordinaire.

Dans le second système, la poudrerie de Sevran a fait préparer des poudres mélangées, soit de gélose, soit de paraffine, et des poudres dont les grains ont été enduits de vernis de différentes espèces. Ces poudres seront soumises à des essais de conservation et de tir.

La poudrerie de Sevran s'est aussi préoccupée de préparer des poudres susceptibles d'être employées dans les canons-revolvers de 37^{mm} et de 47^{mm}.

La diminution de fumée qui résulte de l'emploi des poudres au picrate d'ammoniaque constituerait un grand avantage pour le tir de ces armes, et, d'autre part, l'emploi des cartouches métalliques, dont on fait usage avec ces canons, pourrait mettre à l'abri des variations d'humidité.

Des tirs ont été faits déjà dans le canon de 37^{mm}, avec les échantillons préparés, et ont donné des résultats de nature à encourager ces recherches.

ÉTUDE N° 25.

Examen d'une demande d'autorisation concernant l'adjonction d'un dépôt de capsules fulminantes au dépôt de dynamite installé dans la redoute de Montreuil.

(1re Section.)

Cette étude doit être regardée comme close, la société de la dynamite renonçant à poursuivre la demande en autorisation et les expériences qu'elle devait exécuter à ses frais.

ÉTUDE N° 29.

Étude de la panclastite.

(1re et 2e Section.)

Cette étude a fait l'objet, dans le cours de l'année 1883, d'un rapport étendu concernant les nombreux produits présentés, sous le nom générique de *panclastites,* à l'examen de la commission (1).

Dans ce rapport, la commission a expressément réservé son appréciation en ce qui concerne la conservation des panclastites, sur laquelle des essais de courte durée ne pouvaient conduire à une conclusion valable, et elle a émis l'avis que la fabrication sur place, avec emploi immédiat, pouvait seule être autorisée.

Les résultats obtenus depuis l'établissement du rapport confirment la justesse de cette restriction. La plupart des cartouches déposées par M. Turpin, pour servir aux expériences de conservation, sans manifester, il est vrai, la moindre tendance à une décomposition explosive, ont donné lieu à des ruptures, pour les cartouches de verre, et à des fissures pour les cartouches métalliques, et il y a lieu de craindre que ces accidents ne soient pas dus seulement à des défauts de résistance ou d'étanchéité des

(1) Voir ci-dessus, p. 575 et 577.

enveloppes, mais à une lente réaction des deux éléments, comburant et combustible, dont le mélange forme les panclastites.

ÉTUDE N° 32.

Étude de la grenadine et poudre Gacon.

(1re Section.)

L'étude de la grenadine, explosif proposé par M. Gacon, a été provisoirement suspendue, l'inventeur n'ayant envoyé à la commission aucun des échantillons qui lui avaient été demandés pour procéder aux essais.

Cette étude vient d'être soumise de nouveau à la commission, sous le nom d'*étude de la poudre Gacon*.

Les essais sont en cours.

ÉTUDE N° 36.

Recherche d'un nouvel explosif pour les usages militaires.

(2e Section.)

La commission a poursuivi les essais qu'elle annonçait dans son rapport préliminaire du 1er février 1883, pour trouver un explosif susceptible de détoner sous l'influence d'une amorce fulminante convenable et ne faisant pas explosion sous le choc de la balle. Mais ces essais n'ayant pas donné, jusqu'à ce jour, de résultats satisfaisants, elle a été amenée à étudier les dispositions que l'on pourrait adopter, dans la pratique, si l'on se décidait à recourir à l'emploi d'une cartouche de rupture renfermant à la fois un explosif susceptible de ne pas détoner sous le choc de la balle et une petite charge amorce d'un explosif plus sensible pour provoquer l'explosion sous l'influence du détonateur réglementaire au fulminate de mercure.

Elle a fait établir un type de cartouche en laiton, obtenue par mandrinage et composée de deux compartiments inégaux.

L'un de ces compartiments reçoit la charge explosive proprement dite, qui pourrait être constituée, par exemple, au moyen d'un prisme de 100gr environ de coton-poudre paraffiné, de coton-

poudre humide ou encore de nitromannite camphrée. Ce compartiment peut être fermé hermétiquement au moyen d'un couvercle luté.

Le second compartiment, qui termine l'un des bouts de la cartouche et peut rester vide en temps ordinaire, recevrait, soit au moment de l'emploi, soit au moment de la délivrance aux troupes, une petite boîte métallique, à fermeture hermétique, contenant environ 20^{gr} de l'explosif destiné à servir d'amorce, coton-poudre sec ou nitromannite pure.

Cette petite boîte est, d'ailleurs, pourvue d'une douille d'amorce pouvant recevoir le détonateur réglementaire, et elle peut être fixée dans son logement par le simple rabattement de petites languettes métalliques ménagées à l'extrémité de la cartouche.

La commission se propose de soumettre à des essais variés un certain nombre de ces cartouches remplies des différents explosifs dont l'emploi peut être avantageux.

ÉTUDE N° 37.

Étude des dangers de transport des poudres, amorces et munitions.

(1re Section.)

Cette étude, soumise à la commission par une dépêche du ministre de la guerre en date du 14 mars 1883, a été provoquée par les principaux industriels français fabriquant les munitions de chasse, qui ont offert d'exécuter à leurs frais les expériences que la commission jugerait convenables pour étudier la nature des dangers que peut présenter le transport des munitions de chasse.

Un programme général a été établi et les essais sont en cours.

ETUDE N° 39.

Étude de la pyronitrine.

(1re Section.)

Cette étude a été soumise à la commission par une dépêche du ministre de la guerre en date du 18 juin 1883.

La pyronitrine est une poudre rentrant dans le type de la poudre

de mine ordinaire, dont elle possède sensiblement le dosage en nitrate. Elle en diffère principalement par sa trituration grossière et l'addition de substances organiques, telles que tan, brai, résine. La commission, dans un rapport établi dans le courant du mois de janvier, a conclu que cet explosif ne pouvait être considéré comme un explosif nouveau, et que l'État n'avait pas avantage à en entreprendre la fabrication.

ÉTUDE N° 40.

Étude d'une nouvelle poudre à double effet, à base de goudron.

(1re et 2e Section.)

Cette étude, soumise à la commission par dépêche ministérielle en date du 20 novembre 1883, concerne des poudres chloratées, à base de goudron, proposées par M. Turpin, et qui, d'après les indications de l'inventeur, jouiraient d'une insensibilité relative par rapport aux poudres chloratées proposées jusqu'à ce jour, en même temps que d'une grande puissance et de l'aptitude à détoner sous l'influence de l'amorce.

Les essais en cours portent sur la force de ces produits, sur leurs propriétés brisantes et sur leur sensibilité.

ANNEXE.

Changements survenus dans le personnel de la commission pendant l'année 1883.

La Commission des substances explosives se composait, au 1er janvier 1883, de

MM. Berthelot, Président;
Castan, Membre titulaire;
Cornu, Membre titulaire;
Lambert, Membre titulaire;
Müntz, Membre titulaire;
Sarrau, Membre titulaire;
Sebert, Membre titulaire;
Vieille, Membre titulaire, Secrétaire;

MM. BIJU-DUVAL, Membre adjoint;
BRUGÈRE, Membre adjoint;
DÉSORTIAUX, Membre adjoint;
HAFFEN, Membre adjoint;
LIOUVILLE, Membre adjoint;
MARAIS, Membre adjoint;
ORCEL, Membre adjoint;
ROSTAIN, Membre adjoint;
DE VERNEUIL, Membre adjoint.

Par décision ministérielle du 27 octobre 1883, M. le capitaine d'artillerie ABAUT a été nommé membre adjoint de la Commission des substances explosives, en remplacement du capitaine ORCEL, nommé adjoint à la 3e direction au Ministère de la Guerre.

Par décision ministérielle du 17 novembre 1883, M. l'ingénieur des poudres et salpêtres MAISSIN a été nommé membre adjoint de la Commission, en remplacement de M. le sous-ingénieur BIJU-DUVAL, attaché spécialement à la poudrerie de Sévran.

En conséquence, l'état de la Commission, au 31 décembre 1883, est le suivant :

MM. BERTHELOT, Président;
CASTAN, Membre titulaire;
CORNU, Membre titulaire;
LAMBERT, Membre titulaire;
MUNTZ, Membre titulaire;
SARRAU, Membre titulaire;
SEBERT, Membre titulaire;
VIEILLE, Membre titulaire, Secrétaire;
ABAUT, Membre adjoint;
BRUGÈRE, Membre adjoint;
DÉSORTIAUX, Membre adjoint;
HAFFEN, Membre adjoint;
LIOUVILLE, Membre adjoint;
MAISSIN, Membre adjoint;
MARAIS, Membre adjoint;
ROSTAIN, Membre adjoint;
DE VERNEUIL, Membre adjoint.

Paris, 7 février 1884.

Le Secrétaire,
VIEILLE.

Vu :
Le Président,
BERTHELOT.

§ II.

RAPPORT GÉNÉRAL SUR LES TRAVAUX EXÉCUTÉS PENDANT L'ANNÉE 1884.

Ce rapport, établi conformément à l'article 4 du décret constituant la commission des substances explosives, comprend les objets suivants :

1° *Analyse des rapports adressés au ministre pendant l'année* 1884;

2° *Revue des travaux en cours d'exécution.*

I. — Analyse des rapports établis pendant l'année 1884.

RAPPORT N° 33. — *Sur l'étude du fulmi-son.*
(1re section; rapporteur : M. LIOUVILLE.)

La commission des substances explosives a été saisie de l'étude du fulmi-son, par dépêche ministérielle en date du 4 juin 1880.

Cette étude a été rattachée par la commission à l'étude plus générale d'un nouvel explosif de guerre, dont les rapports des 7 août 1879 (1) et 1er février 1883 (2) ont fait connaître les principaux résultats. Le rapport actuel résume les données concernant spécialement le fulmi-son, acquises dans les expériences d'ensemble poursuivies par la commission.

La commission estime que les dynamites au fulmi-son présentent une partie des avantages signalés par leur inventeur, M. LOUPPE; elles paraissent notamment moins sensibles au choc des balles et moins sujettes à l'exsudation que les dynamites ordinaires, à 75 pour 100, de Vonges; mais leur facilité de congélation et la difficulté de les faire détoner dans cet état constituent un inconvénient assez sérieux pour faire rejeter leur adoption comme explosif de guerre.

Enfin la conservation des dynamites au fulmi-son ne paraît pas

---

(1) Voir 1, 109.

(2) Voir ci-dessus, p. 174.

suffisamment assurée pour qu'il soit possible d'en constituer dès aujourd'hui un approvisionnement de quelque importance.

Rapport n° 34. — *Sur l'étude de la pyronitrine.*

(1re section; rapporteur : M. Vieille.)

Par dépêche du 18 juin 1883, le ministre de la guerre a soumis un explosif dénommé *pyronitrine* à l'examen de la commission des substances explosives, en l'invitant à lui faire connaître notamment si cette substance rentre dans la catégorie de celles dont la loi du 8 mars 1875 a autorisé la fabrication éventuelle par l'industrie et, dans le cas de la négative, s'il y aurait intérêt pour l'État à en entreprendre la fabrication.

Les compositions mentionnées dans le brevet ou indiquées par l'inventeur, M. Prodhomme, pour les échantillons soumis à l'examen de la commission, établissent nettement que la pyronitrine rentre dans le type de la poudre de mine française, dont elle possède sensiblement la teneur en nitrates. Toutefois, dans cette poudre, le charbon est remplacé par des matières organiques, telles que le tan, la résine ou le brai. Elle se rapproche donc des poudres dites inexplosives, proposées antérieurement par de nombreux inventeurs.

Dans ces conditions, la commission estime que cette substance ne rentre pas dans la catégorie des dynamites dont la loi du 8 mars 1875 a autorisé la fabrication éventuelle et qu'elle ne constitue pas un explosif nouveau.

D'autre part, la mesure des pressions développées en vase clos, par la pyronitrine, et l'étude de son mode de combustion sous pression montrent que cette matière est une poudre 5 ou 6 fois plus lente que la poudre de mine française, et que sa force est inférieure de $\frac{1}{3}$ environ à celle de cette dernière.

Pour ces motifs, la commission estime que l'État n'a pas intérêt à en entreprendre la fabrication.

Rapport n° 35. — *Sur l'étude des poudres chloratées de* M. Pellier (Alix).

(1re section; rapporteur : M. Vieille.)

Le ministre de la guerre, par dépêche en date du 5 décembre

1883, a soumis à l'examen de la commission des substances explosives une matière présentée par M. Pellier, en l'invitant à lui faire connaître si cette substance rentre dans la catégorie de celles dont la loi du 8 mars 1875 a prévu la fabrication éventuelle par l'industrie et, dans le cas de la négative, s'il y aurait intérêt pour l'État à en entreprendre la fabrication. Les renseignements fournis par l'inventeur, relativement à la composition de la substance présentée par M. Pellier, établissent que cet explosif est une poudre chloratée qui ne diffère pas sensiblement des poudres analogues proposées par divers inventeurs (Kellow et Short, 1886).

Dans ces conditions, la commission estime que, d'après la jurisprudence admise, la poudre de M. Pellier ne constitue pas un explosif nouveau et ne rentre pas dans la catégorie des substances visées par la loi du 8 mars 1875.

Il résulte, d'autre part, de la mesure des pressions développées en vase clos par la poudre Pellier, que cette matière est une poudre chloratée faible, dont la force est inférieure de $\frac{1}{3}$ environ à celle des poudres chloratées dont le dosage est rationnellement choisi. Le procédé de fabrication proposé par l'inventeur ne constitue d'ailleurs aucun progrès sur les modes de préparation usités jusqu'à ce jour. La commission estime donc que l'État n'a pas avantage à entreprendre la fabrication des poudres Pellier.

Rapport n° 36. — *Sur l'étude de la grenadine et des poudres Gacon.*

(1re section; rapporteur : M. Vieille.)

La commission des substances explosives a été saisie de l'étude de la *grenadine,* présentée par M. Gacon, par dépêche du ministre de la guerre en date du 6 mai 1882.

La commission n'ayant pu obtenir de l'inventeur l'envoi des échantillons qui étaient nécessaires à ses recherches, l'étude a été ajournée.

A la date du 23 janvier 1884, le ministre de la guerre a soumis à l'examen de la commission une substance explosive, désignée sous le nom de *poudre Gacon,* et présentée par la société générale des poudres Gacon.

Il résulte de l'examen des notices et documents relatifs à ces

deux substances et des déclarations de l'inventeur que la grenadine présentée en 1882, et la poudre Gacon soumise à l'examen de la commission en 1884, constituent un seul et même explosif.

La composition de cette substance est celle d'une poudre de mine dans laquelle le charbon est supprimé et remplacé par une égale quantité de cendres, et l'inventeur revendique spécialement, comme sa propriété, l'idée de l'emploi de la cendre dans un explosif pour en augmenter la puissance.

La commission n'a pas pensé qu'une modification de cette nature, au dosage de la poudre de mine, pût donner à la substance ainsi obtenue le caractère d'explosif nouveau, visé par l'article 7 de la loi du 8 mars 1875.

L'opinion de la commission, fondée sur l'étude de la composition de l'explosif, s'est trouvée d'ailleurs confirmée par les résultats des expériences entreprises pour évaluer la force de la poudre Gacon. Ces expériences établissent, en effet, que les modifications apportées, par M. Gacon, à la composition de la poudre noire, loin de constituer un perfectionnement de cette dernière, ont abaissé de près de moitié la puissance du produit.

La poudre de M. Gacon est, d'ailleurs, une poudre 5 à 6 fois plus lente que la poudre de mine française, et les produits de sa décomposition sous pression renferment une forte quantité d'acide sulfureux qui implique, contrairement aux assertions de l'inventeur, des dangers de même ordre que ceux que présente la poudre de mine ordinaire dans les travaux en galerie.

Pour ces diverses causes, la commission estime que l'État n'a pas intérêt à en entreprendre la fabrication.

Rapport n° 37. — *Sur l'étude des dangers de transport des poudres, amorces et munitions.*

(Rapporteur : M. Maissin.)

La commission des substances explosives a été saisie de l'étude des dangers de transport des poudres, amorces et munitions, par une dépêche du ministre de la guerre en date du 14 mars 1883.

Cette étude a été provoquée par les réclamations formulées par les fabricants français contre le classement attribué, par le décret du 12 août 1874, aux explosifs et munitions de toute sorte. Ce

décret, qui fixe la nomenclature des matières considérées comme pouvant donner lieu soit à des explosions, soit à des incendies, n'établit, en effet, aucune distinction entre les explosifs expédiés en caisses ou barils et les munitions fabriquées avec ces explosifs, et dont l'état de division peut être parfois tel, que l'explosion d'un élément ne puisse se transmettre aux éléments voisins.

Ce classement, pris comme base de tarifs, a conduit les compagnies de chemins de fer et les compagnies d'assurances à n'admettre également aucune distinction entre les diverses catégories d'explosifs ou de munitions, et, dans les points d'embarquement, les précautions les plus rigoureuses ont été uniformément appliquées. Il en est résulté que des catégories de marchandises, qui sont admises sans difficultés par les marines de l'Angleterre, de l'Allemagne et de la Belgique, ne sont acceptées dans les ports français qu'à des prix exorbitants, et que le commerce d'exportation des poudres, amorces et munitions françaises se trouve sérieusement menacé.

Pour parer aux dangers de cette situation, la chambre de commerce de Paris a émis le vœu que des expériences, analogues à celles qui ont été exécutées en Angleterre, à Birmingham, en avril 1869, fussent faites en France par les soins de l'administration, de façon à établir la nature des dangers que peuvent présenter, en cours de transport, les diverses catégories de munitions de fabrication française.

La commission, après avoir étudié les conditions multiples dans lesquelles peuvent se produire les accidents provenant du transport des matières explosives par voitures publiques, chemins de fer, steamers et voiliers, a reconnu que le programme des expériences anglaises de Birmingham devrait être considérablement élargi.

Les munitions à éprouver ont été classées en six groupes :

Groupe I. — Douilles vides;
» II. — Amorces à percussion;
» III. — Amorces Flobert;
» IV. — Cartouches de revolver;
» V. — Cartouches de chasse;
» VI. — Détonateurs.

D'autre part, les 9 épreuves suivantes ont paru réunir, d'une

façon suffisamment complète, les circonstances, même les plus dangereuses, dans lesquelles peut se produire l'explosion des munitions de toute nature :

1° Chutes des caisses contenant les munitions. Les hauteurs de chute atteignaient 11^{m} à 12^{m}, et le choc avait lieu sur un sol formé d'un pavé en grès;

2° Chocs violents à la température ordinaire. Le choc étant produit au moyen d'un mouton de 300^{kg}, tombant d'une hauteur de 5^{m};

3° Inflammation par ignition à la température ordinaire;

4° Inflammation, au moyen d'un détonateur, à la température ordinaire;

5° Inflammation par suite d'incendie;

6° Chocs violents à une température voisine de 100°;

7° Inflammation par ignition à une température voisine de 100°;

8° Inflammation, au moyen d'un détonateur, à une température voisine de 100°;

9° Chocs produits par une balle de fusil à la température ordinaire.

Les expériences ont été exécutées, à l'usine des Bruyères-de-Sèvres, chez M. Gaupillat. Les munitions ont été prélevées, par un délégué de la commission, dans le magasin général de la fabrique des Bruyères, c'est-à-dire dans des produits de fabrication courante.

Les essais ont exigé 7 séances, pendant lesquelles 43 expériences ont été faites. Le nombre des éléments de munitions consommées, douilles, amorces et cartouches, s'est élevé au chiffre considérable de 1 127 375.

Les conclusions principales des études de la commission sont les suivantes :

1° Les douilles pour armes de chasse ou pour armes portatives de guerre, vides, c'est-à-dire ne renfermant chacune qu'une amorce chargée d'environ 35^{mgr} de composition fulminante, ne constituent en aucune façon des munitions dangereuses ou inflammables, au sens de l'art. 21 du règlement du 15 novembre 1846, et ne paraissent pas devoir tomber sous le coup de son application. Elles pourraient donc être admise, sans aucune réserve relative au poids maximum des colis, à tous les transports par grande vitesse, steamers, voiliers, au même titre que les marchandises ordinaires.

2° La presque totalité des munitions de chasse ou de guerre pour armes portatives, dans des conditions d'emboîtage et d'em-

ballage nettement définies par la commission, constituent des *munitions de sûreté,* c'est-à-dire que l'explosion de l'une d'entre elles ne peut entraîner l'explosion en masse des munitions voisines contenues dans la même caisse.

Par suite, la commission est d'avis que ces munitions ne présentent pas de dangers spéciaux en cours de transport par voie ferrée (petite vitesse), par roulage (y compris les voitures de voyageurs), par canaux, par navires à voile ou à vapeur (même ceux qui transportent les émigrants).

La commission est, en outre, d'avis que le transport par voies ferrées et par grande vitesse pourrait être autorisé pour certaines munitions et dans des conditions de poids déterminées.

Mais la commission insiste sur l'impossibilité d'assimiler, en aucune façon, aux munitions de sûreté les détonateurs ou capsules fulminantes employés pour provoquer la détonation des explosifs proprement dits, tels que les dynamites ou le coton-poudre.

Rapport n° 38. — *Sur l'étude des poudres à double effet, à base de goudron, proposées par* M. Turpin.

(1re et 2e section; rapporteur : M. Liouville.)

La commission des substances explosives a été saisie de l'étude des poudres à double effet, de M. Turpin, par une dépêche ministérielle du 20 novembre 1883.

Ces poudres sont essentiellement composées de chlorate de potasse et de goudron. Ces éléments sont additionnés, pour les divers échantillons proposés par l'inventeur, de proportions variables d'oxydants moins énergiques que le chlorate, tels que salpêtre, nitrate de plomb, bioxyde de manganèse.

M. Turpin a cherché à éviter les dangers présentés par les poudres chloratées fabriquées jusqu'à ce jour, par l'emploi de combustibles doués, comme les goudrons, d'affinités peu énergiques et d'une plasticité qui tend à diminuer la sensibilité de la matière sous le choc. Il a pu, dans ces conditions, réaliser, sans danger excessif, des mélanges assez intimes pour donner lieu, sous l'influence de l'amorce, à un mode de décomposition détonante analogue à celui que possèdent les explosifs, tels que le coton-poudre

et la nitroglycérine. Ces matières présentent, d'ailleurs, par l'inflammation simple, le mode de décomposition normal de poudres noires; de là le nom de *poudres à double effet,* qui leur a été donné par l'inventeur.

Les échantillons présentés par M. TURPIN sont au nombre de 14; ils diffèrent, soit par la composition, soit par la grosseur des grains.

La commission a soumis ces divers échantillons à une étude très complète, portant sur l'action qu'exerce la chaleur sur ces poudres, sur la facilité de leur détonation au choc du mouton ou de la balle, ou par la percussion qui s'exerce au départ des projectiles chargés de ces matières. La commission a étudié également la facilité de détonation des poudres à double effet, sous l'influence d'amorces de poids variables; elle a évalué leur puissance par plusieurs méthodes : par la mesure des pressions en vase clos, au moyen des appareils crushers; par la déformation des blocs de plomb, au centre desquels est placée la charge, selon la méthode proposée par ABEL; par les écrasements de cylindres de plomb, obtenus dans la détonation à l'air libre.

La commission s'est proposé également de comparer les poudres à double effet aux explosifs ordinaires, dans des conditions pratiques parfaitement connues. A cet effet, on a déterminé les charges provoquant la rupture de rails, du type de ceux qui sont employés dans les voies ferrées françaises; on a de même étudié le mode de fragmentation et l'effet de soulèvement produits par des projectiles chargés de diverses matières et placés sous le sol, à $0^m,60$ de profondeur environ.

Les conclusions tirées par la commission de ces nombreuses expériences peuvent se résumer comme il suit :

Les nouvelles poudres chloratées proposées par M. TURPIN réalisent un progrès sensible sur les poudres analogues actuellement connues. Leur fabrication, sans être exempte de dangers, paraît cependant praticable.

Les poudres à double effet présentent très nettement les propriétés détonantes, sous l'influence de l'amorce, signalées par leur inventeur, et peuvent produire des effets de rupture inférieurs, il est vrai, à ceux que l'on obtient au moyen de la dynamite, mais

encore fort importants. Néanmoins, cet explosif ne présente pas d'avantage sérieux sur les explosifs en usage, au point de vue des applications militaires, telles que chargement des projectiles, des cartouches de rupture pour la démolition des ouvrages d'art.

En ce qui regarde les usages industriels, les poudres à double effet ne semblent pas devoir être considérées comme plus avantageuses que la dynamite ou la poudre de mine, étant donnés les prix de revient actuels résultant de la valeur élevée du chlorate de potasse. Mais une baisse de prix affectant cette matière, ou bien une hausse sur la glycérine employée à la préparation des dynamites, pourrait modifier cette conclusion.

II. — Revue des travaux en cours d'exécution.

ÉTUDE N° 1.

Recherche d'un procédé d'épreuve des propriétés explosives du coton-poudre.

(1re et 2e Section.)

La commission a fait précédemment connaître une méthode indirecte fondée sur la détermination du taux de nitrification du coton-poudre; elle a continué, dans le cours de l'année 1884, ses recherches sur divers procédés applicables à la détermination de la puissance explosive de cet explosif; mais, jusqu'à ce jour, ces études n'ont fourni aucune solution paraissant d'une application suffisamment pratique et sûre.

ÉTUDE N° 2.

Emploi du coton-poudre aux opérations de guerre.

(2e Section.)

Les études de la commission ont porté sur l'emploi de pétards de coton-poudre, contenant un taux déterminé d'humidité et renfermés dans des enveloppes étanches.

Ces recherches se trouvent rattachées à l'étude n° 36, et il en sera rendu compte plus loin (p. 607).

Les essais que la commission s'était proposé d'entreprendre sur l'emploi de grandes charges de coton-poudre humide (1) n'ont pu être exécutées, faute d'installations convenables.

ÉTUDE N° 3.

Emploi du coton-poudre dans les mines.

(1re Section.)

La commission a signalé, dans le compte rendu de l'année précédente, les essais qu'elle a entrepris en vue de rendre possible l'emploi, dans les mines, du coton-poudre au nitrate d'ammoniaque, dont elle a fait précédemment ressortir les propriétés remarquables.

Parmi les dispositions propres à assurer la conservation de ce produit à l'état sec, malgré ses propriétés hygrométriques, la commission a proposé l'emploi d'enveloppes étanches formées de feuilles minces de celluloïde.

Cette solution est actuellement mise à l'étude par le service des poudres et salpêtres, à la poudrerie du Moulin-Blanc.

ÉTUDE N° 4.

Études des tubes détonants.

(2e Section.)

La commission a été appelée, pendant l'année 1884, à continuer les expériences de contrôle pour la fabrication des tubes détonants, chargés de coton-poudre à l'hydrocellulose, commandés à l'usine du Moulin-Blanc.

Ces expériences ont porté sur les tubes en étain, de $5^{mm},5$ de diamètre extérieur, formant les lots nos 12 et 13 de l'année 1883, et nos 1, 2 et 3 de l'année 1884.

Le lot n° 13 de l'année 1883 a dû être classé comme défectueux; les autres ont pu être admis en service.

La commission a eu aussi à éprouver des échantillons de tubes

---

(1) Voir 1, 464.

détonants de 4^{mm} de diamètre extérieur, préparés à la suite des ordres donnés par le ministre, pour la reprise de la fabrication de tubes de ce diamètre (dépêche du 13 décembre 1883).

Ces essais ont porté sur les échantillons marqués 69, 70 et 71, à enveloppe de plomb, dont la préparation se trouve décrite dans une note de la poudrerie du Moulin-Blanc, en date du 26 mars 1884. Ces tubes détonants ont montré une sensibilité suffisante pour pouvoir être mis en service.

A la suite de ces essais, la commission a émis l'avis que la poudrerie pourrait être autorisée à reprendre la fabrication courante des tubes détonants de 4^{mm} de diamètre extérieur, et le ministre a donné des ordres en conséquence (dépêche du 14 novembre 1884).

La commission a eu l'occasion d'expérimenter également des tubes détonants chargés d'amidon-poudre ou de nitromannite; mais ces expériences, faites en vue de mesures de la vitesse de la propagation de la détonation, ont été classées dans l'étude n° 44 et il en sera parlé plus loin (p. 609).

La préparation de ces expériences a donné l'occasion de continuer les études sur les meilleures conditions d'étirage des tubes détonants. Ces nouvelles études, consignées dans une note de M. l'ingénieur Maissin, en date du 21 septembre 1884, ont montré que les brusques irrégularités qui se produisaient dans la variation de la densité de la matière, vers la fin des opérations d'étirage faites avec l'appareil-laminoir de Sevran, doivent être attribués probablement à un défaut de proportions dans les dimensions des dernières cannelures des cylindres-laminoirs et non, comme on l'avait cru tout d'abord, à une insuffisance de résistance finale des parois des tubes et à une réaction élastique de la matière.

La commission a été appelée, enfin, à faire des expériences sur un cordeau détonant, à enveloppe souple, préparé par les soins de M. Maissin.

Ces expériences sont classées dans l'étude n° 45, dont il est parlé plus loin (p. 609).

ÉTUDE N° 6.

Action du camphre sur les composés explosifs azotés.

(1re et 2e Section.)

La commission a continué des essais d'amorçage, de rupture de rails et de tir au fusil sur des charges de dynamite, de coton-poudre et de nitromannite renfermant des proportions variables de camphre.

Ces essais n'indiquent pas qu'il y ait quelque avantage à faire usage de produits de ce genre, sauf peut-être en ce qui concerne la nitromannite.

ÉTUDE N° 7.

Étude de la nitromannite.

(1re et 2e Section.)

La nitromannite a été expérimentée, dans le cours de l'année 1884, sous forme de pétards constitués par une charge de nitromannite camphrée et sous forme de petites charges-amorces, en nitromannite pure, destinées à provoquer la détonation du coton-poudre paraffiné.

Ces expériences sont restées incomplètes, faute de moyens suffisants pour préparer la nitromannite nécessaire aux essais.

ÉTUDE N° 8.

Étude du coton-poudre paraffiné.

(2e Section.)

Les essais faits pendant l'année, par la commission, sur le coton-poudre paraffiné, ont porté sur la sensibilité à l'amorce du fulminate de mercure et au choc de la balle des cartouches de coton-poudre, contenant différents taux de paraffine, et sur l'hygrométricité de ces mêmes cartouches.

Ces expériences ont montré que le coton-poudre paraffiné s'enflamme facilement sous le choc de la balle et brûle sans détoner. Elles ont fait voir aussi :

1° Que l'amorçage direct, pour les matières renfermant un taux de paraffine supérieur à 5 pour 100, n'est plus possible à l'aide d'une capsule unique de $1^{gr},5$;

2° Que le coton-poudre préparé par l'incorporation, sous les meules, de la paraffine avec le coton-poudre humide absorbe une proportion d'eau notable lorsqu'il est plongé dans l'eau, sous une pression de 1^{m} à 2^{m} d'eau.

La commission se propose de reprendre les essais du coton-poudre paraffiné à chaud.

ÉTUDE N° 23.

Étude des poudres au picrate d'ammoniaque.

(3e Section.)

La poudrerie de Sevran a terminé la préparation des deux échantillons de poudre au picrate d'ammoniaque, appropriés respectivement au tir du canon de 90 et au tir des canons-revolvers de 37^{mm} et de 47^{mm} et destinés à des essais de conservation.

On attend, pour la continuation des essais, la livraison des gargousses étanches en celluloïde qui ont été commandées pour le canon de 90.

ÉTUDE N° 29.

Étude de la panclastite.

(2e et 3e Section.)

Indépendamment de l'étude générale des produits dénommés *panclastites* par leur auteur, la commission a eu à étudier une série de propositions formulées par M. Turpin, en vue de l'application de ces produits aux usages militaires.

Un rapport spécial a été préparé sur cette question et sera déposé dans les premiers jours de l'année 1885.

ÉTUDE N° 35.

Étude sur la stabilité du coton-poudre en râpures.

(2e Section.)

Cette étude a donné lieu, dans le cours de l'année 1884, à de nombreuses expériences sur divers procédés d'épreuve proposés pour évaluer le degré de stabilité des matières pyroxylées.

Les essais relatifs aux matières obtenues en découpant ou en râpant le coton-poudre de fabrication réglementaire n'ayant fourni, jusqu'ici, que des résultats négatifs ou douteux, la commission a pensé qu'il y avait lieu de poursuivre les expériences avant de formuler des conclusions, et elle a fait connaître à M. le ministre de la guerre l'état de la question, par lettre du 26 septembre 1884.

ÉTUDE N° 36.

Recherche d'un nouvel explosif de guerre.

(2e Section.)

Les études de la commission ont porté sur un nouvel étui en laiton, disposé pour recevoir, au moment de l'emploi, une petite cartouche-amorce de coton-poudre sec et sur un étui analogue en celluloïde.

Les expériences ont été faites sur la dynamite et la nitromannite camphrées, le coton-poudre camphré, le coton-poudre paraffiné et le coton-poudre humide.

Ces expériences ayant montré que ce dernier produit paraît seul, jusqu'à ce jour, susceptible de donner des garanties suffisantes de non-inflammation sous le choc de la balle, la commission s'est attachée à rechercher un mode de préparation et de conservation de ce produit qui pût être aisément adopté dans la pratique.

Elle a demandé, en vue de ses essais, des prismes de coton-poudre comprimé préparés par moulage direct, qui permettront, sans doute, de limiter au taux convenable le degré d'humectation, et elle a fait également une nouvelle commande d'étuis en cellu-

loïde, préparés en matière moins cassante que les premiers étuis livrés par le fabricant.

ÉTUDE N° 40.

Étude d'une nouvelle poudre à double effet, à base de goudron.

(1re et 2e Section.)

Cette étude a été l'objet d'un rapport dont l'analyse a été donnée plus haut (p. 600).

La commission se propose de contrôler les assertions récemment formulées par l'inventeur, relativement à la possibilité de provoquer la détonation du coton-poudre humide par les poudres à double effet.

ÉTUDE N° 42.

Étude de la poudre des mineurs.

(1re Section.)

L'explosif présenté par M. Michalowski, ingénieur à Montceau-les-Mines, est une poudre chloratée dont la composition ne diffère pas sensiblement de celle des produits de même espèce présentés récemment par divers inventeurs.

M. Michalowski paraît s'être proposé de diminuer les dangers que comportent, d'une façon générale, la préparation et l'emploi des explosifs de cette catégorie, en renonçant au mélange intime des éléments et se contentant de réaliser une incorporation grossière.

La poudre de M. Michalowski a été l'objet de nombreuses expériences, dont les résultats feront l'objet d'un prochain rapport.

ÉTUDE N° 43.

Étude de la poudre Vril.

(2e Section.)

Un Anglais, M. Vril, a présenté au ministre de la guerre une poudre destinée plus spécialement, sous sa forme actuelle, au tir des fusils de guerre et de chasse.

Cette poudre est une poudre chloratée dans laquelle on a cherché à faire disparaître les inconvénients habituels résultant de la présence du chlorate de potasse, par l'addition de divers composés et notamment de paraffine et d'oxyde de fer.

La commission, saisie de l'étude de cette poudre, a entrepris une série d'expériences méthodiques, pour la mettre en comparaison avec les diverses poudres préconisées, comme cette poudre, dans ces derniers temps, en vue de diminuer la charge et de réduire la production de fumée.

ÉTUDE N° 44.

Mesure de la vitesse de transmission de la détonation dans les explosifs.

(1re et 2e Section.)

La commission a effectué, dans le cours de l'année, de nombreuses mesures de vitesse de propagation de la détonation dans des tubes remplis de matières explosives, soit solides, soit liquides.

Ces expériences ont porté sur des tubes détonants de divers diamètres, en plomb ou en étain, chargés de coton-poudre, d'amidon-poudre et de nitromannite; sur des tubes analogues remplis de coton-poudre granulé, sur des tubes remplis de dynamite et enfin sur des tubes remplis de nitroglycérine liquide et de panclastite au sulfure de carbone.

Les résultats obtenus dans ces essais ont été consignés dans une série de procès-verbaux détaillés qui, par leur importance, ont paru mériter d'être classés dans une étude spéciale, au lieu d'être rattachés, comme ceux des expériences antérieures, à l'étude générale des cordeaux détonants.

ÉTUDE N° 45.

Recherche d'un cordeau détonant souple.

(1re et 2e Section.)

En faisant usage du coton-poudre granulé et en suivant les procédés employés pour la confection des cordeaux souples, dits *in-*

stantanés, réglementaires dans le service du génie, M. l'ingénieur Maissin a réussi à fabriquer des cordeaux souples jouissant de propriétés analogues à celles des tubes détonants à enveloppes de plomb ou d'étain fabriqués par étirage.

La commission a eu l'occasion d'étudier le mode de fonctionnement de ces cordeaux, et elle a émis l'avis qu'il y aurait lieu d'en faire fabriquer une certaine quantité pour les mettre en essai dans les corps de troupe qui pourraient désirer les mettre en comparaison avec les tubes détonants précédemment en usage.

ÉTUDE N° 46.

Appareils exploseurs divers proposés par M. Turpin.

(2e Section.)

Le ministre a soumis à l'examen de la commission une série de mémoires de M. Turpin, relatifs à divers systèmes d'exploseurs ou d'appareils destinés à faciliter différentes applications des explosifs aux usages militaires.

La commission a préparé sur ces différents mémoires un rapport qui pourra être déposé dans les premiers jours de l'année 1885.

ÉTUDE N° 47.

Étude de la dynamite-paille.

(2e Section.)

Par dépêche du 22 novembre 1884, le ministre a demandé à la commission de faire porter ses études sur la dynamite-paille fabriquée à Arendonck, en Belgique.

La commission attend l'arrivée des cartouches de ce produit pour commencer ses expériences.

ÉTUDE N° 48.

Étude des poudres au nitrophénol.

(2e Section.)

Dans un mémoire intitulé : *Poudre progressive à base de combustible actifs et nitrés dérivés de la série aromatique,*

M. TURPIN a préconisé l'emploi du nitrophénol pour la composition des poudres dont le dosage et les procédés de fabrication resteraient complètement à étudier.

La commission a été chargée de l'examen de ce mémoire, qui fera l'objet d'un rapport ultérieur.

ANNEXE.

CHANGEMENTS SURVENUS DANS LE PERSONNEL DE LA COMMISSION PENDANT L'ANNÉE 1884.

Par décision ministérielle du 21 octobre 1884, M. LOUIS, capitaine au 20e régiment d'artillerie, a été nommé membre adjoint de la Commission des substances explosives en remplacement de M. le commandant ROSTAIN, qui a quitté la garnison de Paris.

En conséquence, l'état de la commission, au 31 décembre 1884, est le suivant :

MM. BERTHELOT, Président;
CASTAN, Membre titulaire;
CORNU, Membre titulaire;
LAMBERT, Membre titulaire;
MUNTZ, Membre titulaire;
SARRAU, Membre titulaire;
SÉBERT, Membre titulaire;
VIEILLE, Membre titulaire, Secrétaire;
ABAUT, Membre adjoint;
BRUGÈRE, Membre adjoint;
DÉSORTIAUX, Membre adjoint.
HAFFEN, Membre adjoint;
LIOUVILLE, Membre adjoint;
LOUIS, Membre adjoint;
MAISSIN, Membre adjoint;
MARAIS, Membre adjoint;
DE VERNEUIL, Membre adjoint.

Paris, 5 février 1885.

Le Secrétaire,
P. VIEILLE.

Vu :
Le Président,
BERTHELOT.

§ III.

RAPPORT GÉNÉRAL SUR LES TRAVAUX EXÉCUTÉS PENDANT L'ANNÉE 1885.

Ce rapport, établi conformément à l'art. 4 du décret constituant la commission des substances explosives, comprend les objets suivants :

1° *Analyse des rapports adressés au ministre pendant l'année* 1885;

2° *Revue des travaux en cours d'exécution.*

I. — Analyse des rapports établis pendant l'année 1885.

RAPPORT N° 39. — *Sur l'étude de la question des applications de la panclastite aux usages militaires.*

(2e Section; rapporteur : M. SEBERT.)

La commission des substances explosives a été saisie de l'étude des applications de la panclastite aux usages militaires, par une dépêche ministérielle du 13 décembre 1883.

Peu de temps après, une brochure de M. TURPIN, renfermant l'exposé des applications dont la panclastite paraît susceptible pour les usages militaires, a été mise à la disposition de la commission.

Parmi les diverses propositions formulées par l'inventeur, deux applications principales sont présentées comme susceptibles d'être réalisées avec avantage par l'emploi des éléments séparés de la panclastite : d'une part, le chargement des torpilles et, d'autre part, le chargement des obus.

En ce qui concerne le chargement des torpilles, le rapport met en parallèle les explosifs actuellement réglementaires et la panclastite de M. Turpin et fait ressortir les inconvénients multiples résultant de l'emploi de liquides offensifs extrêmement volatils et dilatables ou même inflammables, exigeant l'adoption de récipients coûteux et compliqués et de dispositions mécaniques délicates. Le rapport conclut à l'inutilité de mettre en essai la panclastite pour le chargement des torpilles.

Au point de vue de l'application de la panclastite au chargement des obus, et spécialement des obus de rupture, le rapport signale les motifs qui ont fait mettre en doute, jusqu'à ce jour, l'utilité de l'emploi des explosifs puissants, tels que le coton-poudre ou la dynamite convenablement insensibilisée, pour le chargement des projectiles creux.

Le rapport fait ressortir que les dispositions proposées par M. Turpin n'ont pas fait de sa part l'objet d'études complètes et ne peuvent être considérées que comme de simples suggestions à utiliser dans des recherches ultérieures. Si de pareils essais devaient être tentés, la commission pense que les explosifs actuellement réglementaires conduiraient plus facilement que la panclastite au but que l'on se propose.

Le rapport examine en dernier lieu un type de cartouche cloisonnée proposée par M. Turpin, pour remplacer les pétards de rupture réglementaires. Ces cartouches sont d'un poids excessif : leur disposition compliquée entraînerait un prix de revient très élevé, leur fonctionnement serait mal assuré. Des observations de même ordre s'appliquent aux différents appareils exploseurs ou inflammateurs mentionnés par l'inventeur. Ces appareils font, d'ailleurs, l'objet de rapports spéciaux établis par la commission.

En résumé, la commission est d'avis qu'il n'y a aucune suite à donner aux propositions formulées par M. Turpin, pour les applications de la panclastite aux usages militaires.

Rapport n° 40. — *Sur l'étude d'une nouvelle poudre, dite* poudre des mineurs.

(1re Section; rapporteur : M. Liouville.)

La commission a été saisie, par dépêche ministérielle du 19 mai 1884, de l'étude de la poudre des mineurs, présentée par M. Michalowski, ingénieur à Montceau-les-Mines.

Aux termes de cette dépêche, la commission était invitée à rechercher si la poudre des mineurs constitue un composé explosif nouveau, rentrant dans la catégorie de ceux dont la loi du 8 mars 1875 a prévu la fabrication éventuelle par l'industrie et, dans le cas de la négative, s'il y aurait intérêt pour l'État a en entreprendre la fabrication.

La poudre des mineurs se compose : de chlorate de potasse 50 pour 100, de cellulose (sciure de bois) 40 pour 100 et de bioxyde de manganèse 10 pour 100.

Ces éléments sont grossièrement mélangés, de façon à donner lieu à une fabrication facile et à diminuer, dans une certaine mesure, la sensibilité au choc bien connue de ce genre d'explosifs.

Cette poudre a été soumise aux expériences que la commission des substances explosives a instituée pour l'examen des poudres de cette espèce. Les essais ont porté sur la facilité de détonation au choc d'un mouton ou sous l'influence d'amorces de poids variables; sur les pressions développées en vase clos, comparativement avec la poudre noire; sur l'aptitude de ce produit à détoner à l'air libre ou sous faible bourrage dans les blocs Abel.

Enfin, le prix de revient de cette poudre a été évalué d'après les données fournies par l'inventeur.

Les conclusions de la commission peuvent se résumer comme il suit :

1° La poudre des mineurs ne peut, d'après la jurisprudence admise jusqu'à ce jour, être considérée comme un explosif nouveau.

2° Si l'on tient compte de la force de cet explosif, qui est égale à 1 $\frac{1}{2}$ fois celle de la poudre de mine, et de son prix de revient, qui est double de celui de cette dernière, on doit conclure que l'emploi de la poudre de M. Michalowski est, à égalité d'effet, plus dispendieux que celui de la poudre de mine. L'État n'a donc pas intérêt à en entreprendre la fabrication.

Rapport n° 41. — *Sur l'étude d'appareils exploseurs divers proposés par* M. Turpin.

(2e Section; rapporteur : M. Muntz.)

La commission a été saisie de l'étude de ces appareils, par les dépêches ministérielles des 31 octobre et 21 novembre 1884.

Les appareils ou dispositifs proposés par M. Turpin sont les suivants :

1° Moyen d'appliquer les cartouches métalliques contre les obstacles à détruire et torpilles à main;

2° Exploseur n° 1, automatique à temps et sur place;

3° Torpille terrestre ou fougasse portative;

4° Exploseur n° 2, automatique à temps et à distance par l'électricité;

5° Exploseur n° 3 universel.

L'examen des dispositifs qui font l'objet de la première proposition de M. Turpin a conduit la commission à considérer les modèles proposés : agrafes, mastic, ventouses ou torpilles, comme inférieurs, dans la pratique, aux dispositifs actuellement en usage dans l'armée, pour atteindre le même résultat.

L'exploseur n° 1, automatique à temps, a paru à la commission, malgré certaines dispositions ingénieuses, trop volumineux, trop délicat de maniement et sans supériorité sur les appareils de même espèce existant encore dans les magasins de l'État et utilisés en 1871 pendant la défense de Paris.

La torpille terrestre portative a été considérée par la commission comme présentant un poids excessif (59^{kg}), et ses effets, déduits des données acquises sur le mode d'action des explosifs, paraissent très inférieurs à ceux que l'auteur en avait espéré.

L'exploseur n° 2 par l'électricité a surtout donné lieu, de la part de la commission, à des objections de principe. La commission a pensé que, dans toute opération de guerre comportant la destruction d'un ouvrage d'art, on devait admettre la nécessité de constater le résultat obtenu.

Ce point admis, l'exploseur de M. Turpin, bien que présentant des dispositions ingénieuses, est certainement inférieur, comme sécurité de fonctionnement et comme puissance, aux appareils réglementaires de mise de feu électrique, tels que la pile des parcs employée par le service du génie.

Enfin, l'exploseur universel de M. Turpin ne paraît pas correspondre à une application bien déterminée, et la commission a pensé que les boîtes d'amorce réglementaires étaient susceptibles de recevoir, aussi bien que l'appareil de M. Turpin, des dispositifs multiples de mise de feu s'ils étaient jugés avantageux.

Rapport n° 42. — *Sur l'étude d'une nouvelle substance explosive, dite* lithotrite.

(1re Section; rapporteur . M. Liouville.)

La commission a été saisie, par une dépêche ministérielle du

11 avril 1885, de l'étude de la lithotrite, présentée par M. Florant, représentant M. Anthennis, ingénieur à Gand (Belgique).

La commission était invitée à rechercher si cette substance rentre dans la catégorie de celles dont la loi du 8 mars 1875 a prévu la fabrication éventuelle par l'industrie et, dans le cas de la négative, s'il y aurait pour l'État intérêt à en entreprendre la fabrication.

La lithotrite est essentiellement composée d'azotates, salpêtres ou nitrates de soude et de matières organiques riches en carbone, telle que sciure de bois additionnée de charbon. L'inventeur ajoute à ce mélange de petites quantités de ferrocyanure de potassium et de picrate d'ammoniaque. Sa fabrication consiste dans un mélange grossier de ces éléments.

Les expériences entreprises par la commission ont eu pour but principal de comparer la lithotrite à la poudre de mine française, au point de vue de la force et de la durée de combustion sous pressions. La force des lithotrites est inférieure de $\frac{1}{10}$ à $\frac{2}{10}$ à celle de la poudre de mine, et la durée de leur combustion 3 à 4 fois plus grande.

Les conclusions formulées par la commission sont les suivantes :

1° Suivant la jurisprudence établie, les lithotrites ne constituent pas un explosif nouveau susceptible d'être autorisé par application de l'art. 7 de la loi du 8 mars 1876;

2° Les lithotrites ne présentent, sur la poudre de mine française, aucun avantage pouvant conduire l'État à en entreprendre la fabrication.

Rapport n° 43. — *Sur l'étude d'un nouvel explosif présenté par* M. Domergue.

(1re Section; rapporteur : M. Liouville.)

La commission a été saisie de l'étude de l'explosif Domergue par une dépêche ministérielle du 11 septembre 1885.

Aux termes de cette dépêche, la commission avait à rechercher si cette substance constitue un composé chimique explosif nouveau et, dans le cas de la négative, s'il y aurait intérêt pour l'État à en entreprendre la fabrication.

La poudre de M. Domergue se compose exclusivement de chlo-

rate de potasse et de soufre, dans des proportions variables, suivant la nature des effets à obtenir. Sa préparation consiste dans un mélange grossier des éléments à l'aide d'une spatule, et la matière est employée sous forme de poussier.

Bien que la poudre de M. Domergue fût presque identique à la poudre des mineurs, récemment soumise à l'examen de la commission, des expériences ont été faites pour évaluer sa force en vase clos et son aptitude à la détonation dans les blocs Abel. Les résultats obtenus diffèrent peu de ceux qu'a fournis la poudre des mineurs.

La commission a conclu que l'explosif Domergue ne peut être considéré comme un explosif nouveau, et que sa fabrication par l'État ne pourrait offrir d'avantage sur la poudre noire, ni au point de vue économique, à égalité d'effet, ni au point de vue de la sécurité.

RAPPORT N° 44. — *Sur les observations présentées par les compagnies de chemins de fer, au sujet du transport des amorces et munitions de chasse.*

Par dépêche du 13 juillet 1885, M. le ministre de la guerre a transmis à la commission des substances explosives, en lui demandant de lui faire connaître les observations que soulèverait l'examen de ce document, une lettre de la compagnie des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, portant la date du 16 avril 1885, et relative au transport par voie ferrée des poudres, amorces, munitions. Cette lettre, adressée au ministre des travaux publics, est une réponse à la communication qui avait été faite à cette compagnie d'un rapport, en date du 8 mai 1884, de la commission des substances explosives et d'un rapport, du 15 octobre 1884, de la chambre de commerce de Paris, concluant au retrait des mesures restrictives imposées pour le transport sur les voies ferrées des poudres, amorces et munitions de chasse.

La commission des substances explosives n'a pas eu à discuter les appréciations émises par la compagnie, au sujet de la modération relative des tarifs et des causes réelles de la réduction de trafic dont se plaignent les fabricants de munitions; elle n'a présenté d'observations qu'au sujet de faits rappelés par la compa-

gnie des chemins de fer de Lyon, et qui semblent en contradiction avec les résultats des expériences consignées dans le rapport du 8 mai 1884.

La commission rappelle que ses expériences ont mis en évidence ce fait, que les enveloppes des cartouches de chasse, dans les conditions de fabrication courante et d'emballage adoptées par les fabricants français qui ont soumis leurs produits à ses investigations, sont suffisamment résistantes pour mériter à ces cartouches la désignation de *munitions de sûreté,* qui est donnée en Angleterre aux munitions qui jouissent de la propriété de ne pas faire explosion en masse lorsque l'une d'elles vient à s'enflammer accidentellement.

Mais la commission n'a pas eu la prétention d'établir que les mêmes garanties existent pour toutes les munitions que l'on peut utiliser à la chasse et pour tous les modes d'emballage, même les plus sommaires, que l'on pourrait employer pour le transport de ces munitions.

Les deux accidents cités par la compagnie et résultant du transport clandestin de cartouches doivent être certainement attribués à la négligence des précautions les plus élémentaires d'un emballage normal, et la commission croit même savoir que l'accident survenu à Paris, le seul qui ait présenté quelque gravité, n'a dû son importance qu'à ce fait que la malle qui renfermait les cartouches contenait, en même temps, de la poudre de chasse renfermée dans un récipient ne présentant aucune garantie d'étanchéité.

La commission a admis implicitement, dans son rapport du 8 mai 1884, que l'obligation d'accepter le transport des munitions, dans les conditions qu'elle a indiquées, ne pourrait être imposée, soit aux compagnies de chemins de fer, soit aux compagnies de navigation, qu'avec les garanties prévues par le projet de règlement général sur les explosifs, du 19 juin 1882, et consistant notamment dans le droit de faire constater, par des fonctionnaires spéciaux, que les munitions expédiées et leurs modes d'emballage sont conformes aux types et conditions acceptés par le service d'inspection compétent.

En résumé, la commission des substances explosives ne peut que maintenir ses conclusions sur l'innocuité relative des munitions de chasse bien confectionnées et bien emballées, et elle per-

siste à croire que les compagnies de chemins de fer et les compagnies de navigation pourront recevoir ces munitions sans danger dans les conditions qu'elle a indiquées.

II. — Revue des travaux en cours d'exécution.

ÉTUDE N° 1.

Recherche d'un procédé d'épreuve des propriétés explosives du coton-poudre.

(1re et 2e Section.)

La commission a entrepris de nouveaux essais pour la détermination de la force des explosifs par l'observation de leur action sur des plaques métalliques.

Ces essais ont été effectués dans des conditions différentes de celles qui avaient été classées dans l'étude n° 1.D, et ont été étendues à la comparaison de la puissance des différents explosifs; ils ont été, par suite, classés dans deux nouvelles études qui portent les nos 55 et 56 et dont il est parlé plus loin.

ÉTUDE N° 2 B.

Emploi du coton-poudre humide aux opérations de guerre.

(2e Section.)

La commission a fait pendant l'année quelques expériences pour rechercher s'il serait possible de faire usage de coton-poudre renfermant un taux d'humidité suffisant pour le mettre à l'abri de l'inflammation sous le choc des balles, tout en restant susceptible de détoner directement sous l'influence de l'amorce fulminante à la charge de $1^{gr},5$.

Ces essais n'ont pas donné, jusqu'ici, de résultats satisfaisants.

ÉTUDE N° 3.

Emploi du coton-poudre dans les mines.

(1re Section.)

Les études relatives à la conservation du coton-poudre au ni-

trate d'ammoniaque ont été poursuivies pendant l'année 1885, spécialement en vue de vérifier si le contact prolongé des éléments n'amène pas une altération du produit.

Le service des poudres et salpêtres a mis en essai, à l'usine du Moulin-Blanc, la fabrication du coton-poudre au nitrate d'ammoniaque, comparativement avec le coton-poudre au nitrate de baryte, dont l'usage est répandu en Belgique.

ÉTUDE N° 4.

Étude des tubes détonants.

(2e Section.)

La commission a eu à vérifier, pendant le cours de l'année 1885, les qualités de trois nouveaux lots de tubes détonants en plomb, chargés de coton-poudre à l'hydrocellulose, provenant de la fabrication de 1884 de l'usine du Moulin-Blanc.

Ces essais ayant donné de bons résultats, la commission a pu demander que la fabrication des tubes détonants de 4^{mm}, qui avait été suspendue, fût reprise, à titre d'essai, au Moulin-Blanc (lettre du 5 novembre 1885).

La commission a été consultée, par dépêche du 21 avril 1885, sur l'opportunité de rendre réglementaire l'adjonction, à chaque envoi de tube détonant fait par l'usine du Moulin-Blanc, d'une note sur les procédés d'amorçage de ces engins, rédigée par le directeur de cette usine.

Elle a fait connaître, par lettre du 16 mai suivant, qu'il n'y avait pas lieu, à son avis, de donner suite à cette proposition.

ÉTUDE N° 8.

Étude du coton-poudre paraffiné.

(2e Section.)

La commission, se préoccupant de l'altération observée à l'école de pyrotechnie de Toulon sur quelques échantillons de coton-poudre paraffinés à chaud et conservés à sec, a étudié un appareil

destiné à procéder au paraffinage dans des conditions de température bien définies. Il y aura lieu de vérifier si l'emploi du coton-poudre non carbonaté ne serait pas préférable à celui du coton carbonaté, au point de vue de la stabilité des produits paraffinés.

ÉTUDE N° 23.

Étude des poudres au picrate d'ammoniaque.

(3e Section.)

La commission a effectué, dans le cours de l'année 1885, quelques tirs comparatifs entre la poudre au picrate d'ammoniaque destinée au tir du fusil et la poudre Vril.

Elle s'était proposé d'effectuer des tirs en vue de l'étude de la conservation d'échantillons destinés aux canons de campagne et aux canons-revolvers; mais ces tirs n'ont pu avoir lieu par suite de retards dans les livraisons de gargousses étanches en celluloïde, que l'on se proposait d'employer pour ces essais.

ÉTUDE N° 29.

Étude de la panclastite.

(2e et 3e Section.)

La commission a établi, à la date du 8 janvier 1885, un rapport complétant ses rapports antérieurs, des 4 mai 1882 et 3 août 1883, sur les produits explosifs proposés par M. Turpin et désignés par lui sous le nom de *panclastites*. Ce rapport concerne spécialement les différents dispositifs proposés par cet inventeur pour faciliter l'application de la panclastite aux usages militaires : il a été analysé plus haut (p. 612).

ÉTUDE N° 35.

Étude sur la stabilité du coton-poudre en râpures.

(1re Section.)

Une série d'échantillons, provenant du découpage ou râpage de coton-poudre, obtenus dans des conditions variées, ont été

mis en observation après avoir été soumis à des épreuves de chaleur. Les échantillons n'ont manifesté, jusqu'à ce jour, aucune altération.

La commission a rattaché à cette étude celle de l'influence du carbonate de soude sur la stabilité du coton-poudre en présence d'une élévation de température.

ÉTUDE N° 36.

Recherche d'un nouvel explosif de guerre.

(2e Section.)

Pendant l'année 1885, la commission a exécuté un certain nombre d'expériences se rattachant à la recherche d'un nouvel explosif de guerre.

Ces essais ont porté notamment sur des pétards chargés de coton-poudre humide, de coton-poudre paraffiné, de dynamite-paille, de dynamites camphrées, au jute et au coton-poudre, de poudre pyroxylée comprimée, de dynamite à la randanite, à dosage réduit de nitroglycérine.

A cette étude se rattachent également des essais faits sur la dynamite-paille, l'acide picrique et la nitromannite.

ÉTUDE N° 42.

Étude de la poudre des mineurs.

(1re Section.)

Cette poudre a été l'objet de nombreuses expériences, dont les résultats sont consignés dans un rapport analysé ci-dessus.

ÉTUDE N° 43.

Étude de la poudre Vril.

(3e Section.)

La commission a continué les essais entrepris sur la poudre Vril, en comparant cette poudre pour le tir du fusil avec les

poudres réglementaires en France et la poudre au picrate d'ammoniaque. Ces essais ont été interrompus par suite de l'épuisement de l'échantillon remis par les inventeurs.

Il a été demandé un nouvel échantillon, qui est arrivé récemment et va permettre de compléter les essais.

ÉTUDE N° 44.

Vitesse de propagation de la détonation dans les explosifs.

(1re et 2e Section.)

La commission a préparé des expériences pour continuer les recherches sur la mesure de la vitesse de propagation de la détonation dans les explosifs contenus dans les tubes métalliques. Elle se propose d'étudier notamment l'influence de la résistance des parois sur la vitesse de propagation, et elle a fait préparer, à cet effet, des tubes étirés en acier très résistants, susceptibles d'être remplis d'explosifs liquides.

Ces expériences seront effectuées dès que les circonstances le permettront.

La commission se propose de compléter également ses recherches sur la vitesse de propagation de la détonation dans les tubes détonants à l'acide picrique et à la nitromannite et dans des tubes chargés de dynamites de diverses compositions.

ÉTUDE N° 45.

Recherche d'un cordeau détonant souple.

(1re et 2e Section.)

Ce cordeau, préparé par M. l'ingénieur Maissin, a été mis, sur la demande de la commission, en essai dans les corps de troupe. Il a donné lieu à des rapports favorables qui paraissent motiver l'installation de sa fabrication dans des conditions de production plus étendue.

ÉTUDE N° 46.

Appareils exploseurs divers proposés par M. Turpin.

(2e Section.)

La commission a établi, à la date du 5 février 1885, un rapport sur divers appareils proposés par M. Turpin et destinés à provoquer à distance, soit à volonté, soit au bout d'un temps déterminé, l'explosion de charges de poudre destinées à briser ou bouleverser des ouvrages.

Ce rapport a été analysé plus haut (p. 614).

ÉTUDE N° 47.

Étude de la dynamite-paille.

(2e Section.)

Les expériences faites par la commission des substances explosives sur la dynamite-paille provenant de la fabrique d'Arendonck ont mis en évidence la supériorité de ce produit sur la dynamite réglementaire, au point de vue de la résistance au choc des balles. Il reste à le comparer à cette dernière sous le rapport de la puissance et de la résistance à l'humidité et aux variations de température.

ÉTUDE N° 48.

Étude des poudres au nitrophénol.

(2e Section.)

Un mémoire de M. Turpin, intitulé : *Poudre progressive, à base de combustibles actifs et nitrés, dérivés de la série aromatique, pour le chargement des armes,* a été soumis à l'examen de la commission.

A la suite de considérations générales fondées en grande partie sur les résultats de recherches faites au dépôt central des poudres et dont il a eu communication, M. Turpin donne l'énumération d'un grand nombre de composés, formés principalement

de salpêtre et de nitrophénol, en proportions variables, qui lui paraissent à priori devoir jouir des propriétés voulues pour donner des poudres progressives pouvant convenir à l'emploi dans les armes, ainsi qu'au chargement des projectiles.

L'inventeur ne paraît avoir préparé que de faibles quantités de ces mélanges et n'a pas envoyé à la commission des échantillons susceptibles d'être mis en expérience suivie.

Un rapport concernant les résultats obtenus dans les expériences de laboratoire sera prochainement établi.

ÉTUDE N° 49.

Pétard de coton-poudre pour la cavalerie.

(2e section.)

La commission a expérimenté les pétards de coton-poudre destinés à la cavalerie, fabriqués par l'usine du Moulin-Blanc, en exécution de la décision du 23 septembre 1884.

Elle a fait connaître, à la date du 20 mai 1885, les résultats de ces essais, qui ont été satisfaisants.

ÉTUDE N° 51.

Étude de la lithotrite.

(1re section.)

Cette substance, de trois variétés différentes proposées comme poudre de mine, a fait l'objet d'expériences comparatives avec diverses poudres en usage.

Les résultats obtenus sont consignés dans un rapport analysé ci-dessus (p. 615).

ÉTUDE N° 53.

Étude d'un nouvel explosif proposé par M. Domergue.

(1re section.)

Cet explosif, proposé pour l'emploi dans les mines, a été com-

paré à divers points de vue avec des explosifs analogues déjà étudiés par la commission.

Les résultats obtenus sont relatés dans un rapport analysé plus haut (p. 616).

ÉTUDE N° 55.

Mesure de la force des explosifs par le cintrage de plaques métalliques.

(2e section.)

La commission a mis à l'étude le dispositif adopté par la commission de Versailles, pour la mesure de la force explosive de pétards réglementaires de dynamite et qui consiste à provoquer, par l'explosion du pétard, le cintrage d'une plaque d'acier reposant, par ses extrémités, sur deux appuis, et au milieu de laquelle on pose transversalement le pétard, qui doit avoir une longueur égale à la largeur de la plaque.

Il a été commandé au Creusot deux lots de plaques d'acier extra-doux (acier pour chaudières de la marine), d'épaisseurs variées, les unes de $0^m,15$, les autres de $0^m,12$ de largeur, qui permettront d'exécuter des expériences méthodiques comparatives sur les pétards du modèle dit *de cavalerie* et sur les pétards du type de la commission en usage dans la marine.

ÉTUDE N° 56.

Mesure de la force des explosifs par l'emboutissage à distance de plaques métalliques.

(2e section.)

Pour comparer avec précision la puissance comparative des divers explosifs, la commission a aussi mis à l'étude un dispositif qui avait été employé primitivement, en Angleterre, par M. Adamson, pour la comparaison des qualités des différents aciers.

Ce procédé consiste à faire détoner une charge d'explosif placée, à une distance exactement déterminée, au-dessus d'une plaque mince de cuivre reposant sur une enclume, percée, au centre, d'un large trou cylindrique, de telle sorte que la plaque s'emboutit

sous l'action du choc en prenant une forme concave régulière dont on peut relever le profil.

On peut ainsi prendre, pour la mesure de l'effet de l'explosif, soit la valeur de la flèche, soit celle du volume de la cavité produite.

Dans des expériences préliminaires, on a étudié l'influence sur les résultats de l'épaisseur de la plaque, du poids de la charge employée et de la distance de cette charge pour un même explosif. Les résultats obtenus, qui sont très réguliers, donnent espoir d'obtenir, par ce procédé, une méthode d'épreuve commode pour de petites charges d'explosifs.

ANNEXE.

CHANGEMENTS SURVENUS DANS LE PERSONNEL DE LA COMMISSION PENDANT L'ANNÉE 1885.

Par décision ministérielle du 23 mai 1885, M. l'ingénieur HAGRON, attaché à la poudrerie de Sevran-Livry, a été nommé membre adjoint de la commission des substances explosives, en remplacement de M. l'ingénieur MAISSIN, appelé à d'autres fonctions.

Par décision ministérielle du 29 septembre 1885, M. le capitaine d'artillerie de marine HUGONIOT, attaché au laboratoire central de la marine, a été nommé membre adjoint de la commission des substances explosives, en remplacement de M. le capitaine Marais, décédé.

En conséquence, l'état de la commission au 31 décembre 1885, est le suivant :

MM. BERTHELOT, Président;
CASTAN, Membre titulaire;
CORNU, Membre titulaire;
LAMBERT, Membre titulaire;
MUNTZ, Membre titulaire;
SARRAU, Membre titulaire;
SEBERT, Membre titulaire;
VIEILLE, Membre titulaire, Secrétaire;
ABAUT, Membre adjoint;
BRUGÈRE, Membre adjoint;
DÉSORTIAUX, Membre adjoint;

MM. HAFFEN, Membre adjoint;
HAGRON, Membre adjoint;
HUGONIOT, Membre adjoint;
LIOUVILLE, Membre adjoint;
LOUIS, Membre adjoint;
DE VERNEUIL, Membre adjoint.

Paris, le 4 mars 1886.

Le Secrétaire,
P. VIEILLE.

Vu :
Le Président,
BERTHELOT.

---

§ IV.

RAPPORT GÉNÉRAL SUR LES TRAVAUX EXÉCUTÉS PENDANT L'ANNÉE 1886.

Ce rapport, établi conformément à l'art. 4 du décret constituant la commission des substances explosives, comprend les objets suivants :

1° Analyse des rapports adressés au ministre pendant l'année 1886 ;

2° Revue des travaux effectués pendant la même année.

I. — Analyse des rapports établis pendant l'année 1886.

RAPPORT N° 45. — *Sur l'étude d'une nouvelle poudre proposée par* M. E. LE MARÉCHAL.

(1re section; rapporteur : M. LIOUVILLE.)

La commission a été saisie, par dépêche ministérielle du 22 janvier 1886, de l'étude d'une poudre présentée par M. E. LE MARÉCHAL.

Aucune demande n'ayant été formulée par l'inventeur pour être autorisé à fabriquer, vendre et transporter ce produit, la commission avait seulement à rechercher quel parti l'État pourrait tirer de la matière proposée par M. Le Maréchal.

Cette poudre est un mélange de :

16 pour 100 d'acide stéarique;
84 pour 100 de chlorate de potasse.

Elle a été soumise à une série d'expériences destinées à évaluer sa force et son mode d'action, soit dans les armes, soit dans les mines. A cet effet, on a mesuré les pressions développées par cette poudre en vase clos et déterminé les effets de sa détonation dans les blocs Abel. On a également cherché à évaluer les vitesses et les pressions auxquelles donne lieu son emploi dans le fusil modèle 1874. Enfin, son prix de revient a été estimé d'après les indications de l'inventeur.

Ces recherches ont conduit aux conclusions suivantes :

1° La poudre de M. Le Maréchal est, comme les poudres chloratées, en général, plus forte que la poudre noire, et inférieure à la dynamite dans le rapport de 2 à 3 environ dans les effets de détonation. Elle se rapproche, par ses propriétés explosives, des poudres chloratées à base de goudron proposées par M. Turpin;

2° Son prix de revient, très supérieur à celui de la poudre noire, ne permet pas de regarder son emploi comme avantageux dans les travaux de mine;

3° Dans le fusil modèle 1874, les échantillons proposés ont donné lieu à des pressions excessives, eu égard aux vitesses obtenues, sans présenter d'avantages bien tranchés au point de vue de la production de fumée.

Rapport n° 46. — *Sur l'étude de la poudre* Vril.

(3e section; rapporteur M. Liouville.)

La commission a été saisie de l'étude de la poudre Vril par une dépêche ministérielle du 21 juillet 1884.

Cette poudre est destinée au tir des armes portatives. C'est une poudre chloratée dont la composition est la suivante :

Chlorate de potasse	48,0
Salpêtre	24,3
Ferrocyanure	9,1
Charbons de bois	11,6
Paraffine	6,5
Oxyde de fer	0,5
	100,0

Les essais de la commission ont porté principalement sur la sensibilité au choc de cette poudre, sur sa force évaluée par la mesure des pressions développées en vase clos et, enfin, sur ses qualités balistiques.

Il résulte de ces expériences que la poudre Vril, comme toutes les poudres chloratées, est plus sensible au choc que la poudre noire, que sa force est supérieure de $\frac{1}{3}$ à celle de cette dernière.

Les propriétés brisantes de la poudre Vril ont été mises immédiatement en évidence par le tir de cette poudre dans l'étui du fusil modèle 1874, incomplètement rempli par la charge nécessaire à la reproduction de la vitesse réglementaire.

Les pressions développées furent supérieures de 200^{kg} à 300^{kg} à celles que donnait la poudre noire.

Pour opérer d'une façon plus rigoureuse, la commission a fait chambrer un fusil permettant de recevoir une cartouche de volume réduit qui, remplie de poudre Vril dans des conditions normales, reproduisait la vitesse réglementaire. Dans ces conditions, seules acceptables dans la pratique, la pression a été trouvée de 700^{kg} à 800^{kg} supérieure à celle que développe la poudre noire à égalité de vitesse.

En conséquence, la commission a émis l'avis que la poudre Vril ne pouvait être substituée avec avantage à la poudre noire et qu'il n'y avait pas lieu de poursuivre les expériences.

RAPPORT N° 47. — *Sur l'étude des poudres progressives à base de combustibles actifs et nitrés, dérivés de la série aromatique.*

(1re section; rapporteur : M. VIEILLE.)

La commission a été saisie, par une dépêche du ministre de la guerre, en date du 9 décembre 1884, de l'étude d'un mémoire de M. TURPIN, concernant l'emploi des poudres progressives à base de combustibles actifs et nitrés dérivés de la série aromatique, pour le chargement des armes et des munitions de guerre.

Le mémoire de M. Turpin peut se diviser en deux parties.

Dans la première, il développe les considérations d'ordre théorique qui lui paraissent établir la supériorité des composés nitrés

dérivés de la série aromatique sur ceux de la série grasse, au point de vue de l'application à la fabrication des poudres.

L'auteur estime que l'on doit écarter tous les corps susceptibles de prendre l'explosion de premier ordre sous l'influence de l'amorce au fulminate; il rejette ainsi, non seulement les composés nitrés de la série grasse, mais l'acide picrique et les picrates, et base la préparation des poudres qu'il propose sur l'emploi du mononitrophénol, du binitrotoluène, de la binitrobenzine et de la tétranitronaphtaline mélangés au salpêtre.

Dans la deuxième partie de son travail, M. Turpin résume les résultats obtenus au Laboratoire du Dépôt central sur huit poudres de cette espèce qu'il a présentées sous forme d'échantillons de quelques grammes.

Postérieurement à l'envoi de ce mémoire, M. Turpin a demandé que la commission étendît ses essais à de nouveaux échantillons de même importance à base d'acide picramique et de picramates.

La commission n'a pas cru devoir mettre en discussion les théories contestables que l'auteur a développées en présentant ses diverses poudres. Elle s'est proposée seulement de rechercher dans quelle mesure les matières présentées se prêtaient à la fabrication des poudres lentes et fortes.

Les essais ont porté sur vingt échantillons.

De l'ensemble de ses recherches, la commission a conclu que l'épreuve spéciale en vue de laquelle M. Turpin avait soumis à la commission ses diverses poudres ne mettait en évidence, pour aucune d'elles, un ensemble de propriétés autorisant à les considérer comme plus aptes à constituer pratiquement des poudres fortes et lentes que les matières explosives sur lesquelles les recherches se poursuivent actuellement.

Rapport n° 48. — *Sur la fixation des poids des colis renfermant des munitions pour armes portatives.*

(3e section; rapporteur : M. Sebert.)

Par dépêches des 8 août et 23 octobre 1886, le ministre de la guerre a demandé l'avis de la commission des substances explosives au sujet de demandes faites, l'une par la société française des munitions et l'autre par la chambre syndicale des armuriers,

tendant à faire apporter certaines modifications aux conditions que la commission, dans son rapport du 8 mai 1884, a proposé de fixer pour la limitation de poids de colis renfermant des munitions pour armes portatives.

Les modifications demandées concernent :

1° La limitation à 100^{kg} du poids des caisses de munitions dans les transports par chemins de fer, roulage ou navires. La société des munitions demande que le poids soit fixé à 150^{kg}.

2° La limitation à 5^{kg} du poids des caisses de munitions pour les transports par grande vitesse. La chambre syndicale des armuriers demande de pouvoir expédier les cartouches de chasse par caisses de 100 cartouches atteignant, pour certains calibres, le poids de 10^{kg} (poids brut).

La commission s'est assurée que les limites de poids fixées par son précédent rapport étaient généralement supérieures à celles admises par les législations étrangères concernant le même objet; mais il ressort de l'enquête à laquelle elle s'est livrée que certaines tolérances ont été introduites pour le transport des munitions reconnues *de sûreté*. La commission a pensé que les mêmes facilités pouvaient être accordées aux fabricants français pour le transport de munitions présentant les mêmes garanties, et elle a modifié, dans les termes suivants, les conclusions de son rapport du 8 mai 1884.

Les munitions dites *de sûreté* peuvent être transportées sans limitation de poids, par trains de marchandises et voitures de roulage ou par navires pourvus d'aménagements convenables pour le transport des explosifs, à condition que ces munitions soient renfermées dans des caisses solides, munies de poignées ou liteaux pour en faciliter le maniement, que ces caisses portent une étiquette en indiquant le contenu avec la mention *munitions de sûreté,* qu'elles ne renferment qu'une seule et même espèce de munitions et qu'elles ne contiennent aucune autre matière explosive ou dangereuse.

3° Les munitions dites *de sûreté* en caisses du poids de 10^{kg} (poids brut) peuvent être transportées par trains de voyageurs, voitures publiques ou bateaux ne prenant que des passagers, pourvu que ces caisses soient solidement confectionnées, qu'elles portent une étiquette indiquant leur contenu avec la mention *mu-*

nitions de sûreté et que chaque caisse ne contienne qu'une seule et même espèce de munitions et ne renferme pas d'autres matières explosives ou dangereuses.

II. — Revue des travaux effectués pendant l'année 1886.

ÉTUDE N° 1.

Recherche d'un procédé d'épreuve des propriétés explosives du coton-poudre.

(Étude confiée aux 1re et 2e sections.)

La commission a poursuivi ses essais sur la détermination de la force des explosifs par l'observation de leur action sur des plaques métalliques.

La méthode consistant à caractériser les explosifs par l'épaisseur des plaques nettement découpées par un pétard de dimensions connues a été reconnue défectueuse, dans les conditions des premiers essais. Il reste à voir si l'on n'obtiendrait pas des effets meilleurs en mettant l'explosif sous une forme mieux appropriée, analogue à celle dont il a été fait usage dans des expériences récentes entreprises à la poudrerie du Bouchet.

L'étude se poursuit d'ailleurs par deux méthodes différentes (études nos 55 et 56).

ÉTUDE N° 3.

Emploi du coton-poudre dans les mines.

(Étude confiée à la 2e section.)

En vue de faciliter l'emploi du coton-poudre dans les mines, il a été confectionné des étuis cylindriques en celluloïd pouvant contenir des charges de 30mm de diamètre de coton-poudre à l'azotate d'ammoniaque.

Cette étude se trouve en partie rattachée à l'étude des explosifs Favier.

ÉTUDE N° 5.

Étude comparative des effets des chocs sur les composés explosifs azotés.

(Étude confiée à la 1re section.)

La commission a mis en étude, dans le cours de l'année 1886, un nouvel appareil destiné à comparer les explosifs au point de vue de la sensibilité au choc.

Dans toutes ses recherches antérieures, l'explosif en essai était comprimé au moment du choc entre deux surfaces parallèles animées d'un mouvement relatif normal aux surfaces du contact.

La commission s'est proposé de rechercher si le classement des explosifs, au point de vue de la sensibilité, serait le même en présence de chocs accompagnés d'un frottement énergique. Ce mode d'action a été obtenu en plaçant les matières entre des coins métalliques qu'un choc tend à faire glisser l'un sur l'autre. Les premiers essais semblent indiquer que l'appareil est susceptible d'un bon fonctionnement.

ÉTUDE N° 7.

Étude de la nitromannite.

(Étude confiée aux 1re et 2e sections.)

Les études de stabilité ont été poursuivies sur des échantillons de fabrication ancienne. Des cartouches moulées, préparées à la fin de 1880, sont encore (janvier 1887) en parfait état de conservation.

ÉTUDE N° 35.

Étude sur la stabilité du coton-poudre en râpures.

(Étude confiée à la 1re section.)

Les échantillons mis en observation dans le cours de l'année 1886 n'ont manifesté jusqu'à ce jour aucune altération. Il conviendra de comparer les épreuves de chaleur fournies actuellement par ces produits aux épreuves obtenues au moment de leur mise en expérience.

ÉTUDE N° 36.

Recherche d'un nouvel explosif de guerre.

(Étude confiée à la 2e section.)

Les recherches poursuivies pendant l'année 1886 sont relatives à la mélinite, qui a donné lieu à une étude spéciale. L'étude n° 36 reste néanmoins ouverte pour permettre le classement de documents relatifs aux divers explosifs que la Commission a l'occasion d'essayer et dont elle ne pense pas faire l'objet d'une étude particulière.

ÉTUDE N° 37.

Étude des dangers de transport des poudres, amorces et munitions.

(Étude confiée à la 1re section.)

La Commission a été saisie de l'examen de demandes formulées par les industriels intéressés, à l'effet d'obtenir des facilités plus grandes pour les transports par terre et par mer des munitions destinées aux armes portatives.

Cet examen a donné lieu à l'établissement d'un rapport en date du 4 novembre 1886, dont il est rendu compte plus haut.

ÉTUDE N° 43.

Étude de la poudre Vril.

(Étude confiée à la 3e section.)

Cette étude est actuellement terminée, elle a donné lieu à un rapport analysé plus haut.

ÉTUDE N° 44.

Mesure de la vitesse de propagation de la détonation dans les explosifs.

(Étude confiée aux 1re et 2e sections.)

Des essais ont été faits dans le courant de l'année pour la mesure de la vitesse de propagation de la détonation dans des tubes

en acier, en métal anglais et en caoutchouc, remplis de nitrate de méthyle.

Ces expériences, dont l'exécution a rencontré d'assez grandes difficultés, ont donné des vitesses voisines de 2200^{m} pour des tubes en fer très résistants, des vitesses voisines de 1200^{m} pour des tubes en métal anglais, et enfin des vitesses d'environ 800^{m} en moyenne avec des tubes de caoutchouc.

On se propose de rechercher, par des essais faits au moyen de tubes de verre de diverses épaisseurs, l'influence que la résistance des parois a pu exercer sur ces variations de vitesses mesurées.

ÉTUDE N° 48.

Étude des poudres au nitrophénol.

(Étude confiée à la 1re section.)

Cette étude, actuellement terminée, a donné lieu à un rapport analysé plus haut.

ÉTUDE N° 55.

Mesure de la force explosive par le cintrage au contact des plaques métalliques.

(Étude confiée à la 2e section.)

La commission a expérimenté, comparativement avec les plaques en acier ordinaire, les plaques en acier extra-doux, dit *acier pour chaudières*, qui ont été commandées spécialement au Creusot.

Ces essais, qui ont porté sur des pétards de dynamite, de coton-poudre et de mélinite, ont montré la supériorité pour cet usage de l'acier extra-doux; mais, en même temps, ils ont fait voir que, tout au moins avec les dimensions adoptées, les plaques de cette espèce ne sont pas encore assez résistantes pour convenir aux pétards de mélinite.

De nouvelles recherches sont en cours pour déterminer les conditions à adopter pour l'épreuve de ces derniers.

ÉTUDE N° 56.

Mesure de la force explosive par l'emboutissage à distance des plaques métalliques.

(Étude confiée à la 2e section.)

L'étude de cette méthode d'épreuves, plus particulièrement applicable à l'essai de petites quantités d'explosifs, a été poursuivie de façon à déterminer les conditions les plus convenables à adopter pour obtenir des effets bien réguliers. Les essais ont porté sur le coton-poudre et la dynamite; ils ont fait connaître avec une précision satisfaisante comment on peut faire varier l'emboutissage des plaques de même épaisseur pour un poids constant de l'explosif mis en expérience, en faisant varier les distances des charges à la face supérieure des plaques.

La distance la plus convenable étant aujourd'hui suffisamment déterminée, les essais comparatifs qu'on avait en vue vont pouvoir être entrepris et terminés à bref délai.

ÉTUDE N° 57.

Étude d'un nouvel explosif appelé « Romite ».

(Étude confiée aux 1re et 3e sections.)

La commission n'ayant reçu, dans le cours de l'année 1886, aucun des échantillons qu'elle avait demandés à l'inventeur, considère cette étude comme annulée.

ÉTUDE N° 59.

Étude des explosifs Favier.

(Étude confiée à la 1re section.)

M. Favier a présenté, dans le cours de l'année 1886, des échantillons permettant de se rendre compte des propriétés de ses nou-

velles poudres, mais ne constituant pas encore un type susceptible d'entrer dans la pratique industrielle.

M. Favier a demandé quelques délais pour la présentation de ce type, sur lequel la commission fera porter ses épreuves définitives.

ÉTUDE N° 60.

Étude d'un nouvel explosif de M. Pellier.

(Étude confiée à la 1re section).

La poudre de M. Pellier (Alix), à base de sucre nitrique, a donné lieu à des expériences de force et de stabilité actuellement terminées. Un rapport sera prochainement établi.

ANNEXE.

CHANGEMENTS SURVENUS DANS LE PERSONNEL DE LA COMMISSION PENDANT L'ANNÉE 1886.

Par décision ministérielle du 16 août 1886, M. le sous-ingénieur BRUNEAU, attaché à la poudrerie nationale de Sevran-Livry, a été nommé membre adjoint de la commission des substances explosives, en remplacement de M. l'ingénieur HAGRON, appelé à d'autres fonctions.

Par décision ministérielle du 13 novembre 1886, ont été nommés :

1° Membre permanent de la commission des substances explosives :

M. HAFFEN, chef de bataillon du génie, alors membre adjoint de ladite commission, en remplacement de M. le lieutenant-colonel MUNTZ, nommé chef du génie à Nancy;

2° Membres adjoints et temporaires :

M. BERTRAND, capitaine du génie, en remplacement de M. le commandant HAFFEN, nommé membre titulaire;

M. JACOB DE MARRE, capitaine d'artillerie de la marine, en remplacement de M. le capitaine DE VERNEUIL, appelé à continuer ses services à la Guadeloupe.

En conséquence, l'état de la commission au 31 décembre 1886 est le suivant :

MM. BERTHELOT, Président;
CASTAN, Membre titulaire;
CORNU, Membre titulaire;
HAFFEN, Membre titulaire;
LAMBERT, Membre titulaire;
SARRAU, Membre titulaire;
SEBERT, Membre titulaire;
VIEILLE, Membre titulaire, Secrétaire;
ABAUT, Membre adjoint;
BERTRAND, Membre adjoint;
BRUGÈRE, Membre adjoint;
BRUNEAU, Membre adjoint;
DÉSORTIAUX, Membre adjoint;
HUGONIOT, Membre adjoint;
JACOB DE MARRE, Membre adjoint;
LIOUVILLE, Membre adjoint;
LOUIS, Membre adjoint.

Paris, le 10 mars 1887.

Le Secrétaire,
P. VIEILLE.

Vu :

Pour le Président, empêché,
Le Président, par intérim,
E. SARRAU.

---

§ V.

RAPPORT GÉNÉRAL SUR LES TRAVAUX EXÉCUTÉS PENDANT L'ANNÉE 1887.

Ce rapport, établi conformément à l'art. 4 du décret constituant la commission des substances explosives, comprend les objets suivants :

1° Analyse des rapports adressés au ministre pendant l'année 1887;

2° Revue des travaux effectués pendant la même année.

I. — Analyse des rapports établis pendant l'année 1887.

Rapport n° 49. — *Sur l'étude d'un nouvel explosif de* M. Pellier (Alix).

(1re section; rapporteur : M. Vieille.

La commission a été saisie, par dépêche ministérielle du 20 juillet 1886, de l'étude d'un nouvel explosif présenté par M. Pellier (Alix), de Chancia (Jura), sous le nom de *résine explosive;* elle était invitée à rechercher si cette substance entre dans la catégorie de celles dont la loi du 8 mars 1875 a prévu la fabrication éventuelle par l'industrie et, dans le cas de la négative, s'il y aurait intérêt pour l'État à en entreprendre la fabrication.

La commission a fait porter ses expériences sur la composition de la substance, sa stabilité sous l'influence des chocs et des élévations de température, sur sa force explosive évaluée par divers procédés destinés à caractériser les propriétés de l'explosif dans les divers modes d'emploi.

La résine explosive de M. Pellier s'obtient, d'après les indications de l'inventeur, par l'action des acides sulfonitriques sur le sucre raffiné. Ce produit se présente sous la forme d'une résine brune, se ramollissant à la température de la main et fusible vers 70°. A la température ordinaire, elle est cassante et rappelle l'aspect de la colophane.

La commission a déduit de ses expériences que l'explosif de M. Pellier était une nitrosaccharose, dont le degré de nitrification est intermédiaire entre ceux des saccharoses penta et hexanitriques. C'est sensiblement le degré de nitrification des cotons-poudres employés aux usages militaires. La force de la résine Pellier a été évaluée, soit par la mesure des pressions en vase clos, soit par la détonation dans les blocs Abel, soit au moyen de l'écrasement de cylindres de plomb par la détonation à l'air libre. Cette force est très peu inférieure à celle du coton-poudre. D'autre part, la stabilité de ce produit et sa sensibilité au choc paraissent également de même ordre que celles du coton-poudre.

En réponse aux questions posées par le ministre, la commission émet l'avis que la résine de M. Pellier ne constitue pas un explosif nouveau, les propriétés explosives des nitrosaccharoses et leur

mode de préparation étant connus et relatés dans tous les ouvrages techniques.

D'autre part, la commission, après avoir discuté les données résultant de ses propres recherches et des déclarations de l'inventeur, estime qu'au point de vue de la puissance le nouveau produit ne présente pas d'avantage sur le coton-poudre et que, par suite, l'État n'a pas d'intérêt à en entreprendre la fabrication.

Rapport n° 50. — *Sur l'étude des explosifs* Favier.

(1re section; rapporteur : M. Vieille.)

La commission a été saisie de l'étude des explosifs Favier, par lettre ministérielle du 6 mai 1886, l'invitant à lui faire connaître si l'art. 7 de la loi du 8 mars 1875 leur était applicable, et, dans le cas de la négative, si l'État aurait intérêt à en entreprendre la fabrication.

Les explosifs proposés par M. Favier sont définis d'une façon très générale. Ce sont des mélanges de nitrate de soude ou d'ammoniaque avec des combustibles variés, hydrures ou hydrates de carbone, naturels ou faiblement nitrés. Ces mélanges hygrométriques sont comprimés fortement et protégés extérieurement par un vernis, un papier ou une toile imperméable.

Ces matières ne détonent à l'air libre ni par les amorces usuelles, ni même par l'emploi d'un détonateur intermédiaire; mais elles font explosion en capacité close par l'action d'un détonateur à base de coton-poudre, de nitroglycérine, etc., placé dans l'axe de la cartouche et ne représentant que le $\frac{1}{10}$ du poids total.

La commission a trouvé qu'il ne lui était possible de formuler une appréciation que sur des types complètement définis, comme nature et comme proportions, et pratiquement réalisés par l'inventeur, sous les formes et états physiques qui lui paraissent convenables, et, en conséquence, elle a invité M. Favier à préciser les types d'explosifs qu'il soumettait à l'examen de la commission.

L'explosif présenté par M. Favier se compose de cartouches composées de deux parties, savoir :

1° Une cartouche comprimée présentant un vide central et composée de nitrate d'ammoniaque et de mononitronaphtaline;

2° Un détonateur, placé dans le vide central de la cartouche,

composé d'une dynamite à base active, à faible teneur de nitroglycérine et de coton-poudre (1 à 2 pour 100 du poids total de la cartouche).

Le détonateur est invariablement fixé à la cartouche, et l'ensemble est enrobé dans la paraffine et enveloppé de papier paraffiné.

La commission a étudié la force de l'explosif présenté par M. Favier, son aptitude à la détonation et l'efficacité des procédés employés pour atténuer ses propriétés hygrométriques.

Il résulte de ses recherches :

1° Que la force de l'explosif présenté par M. Favier, déduite des expériences de mesure de pressions en vase clos, est égale à celle du coton-poudre;

2° Que cet explosif, tel qu'il est soumis à la commission, ne détone pas à l'air libre et ne détone que d'une façon très incomplète sous le faible bourrage que comporte l'épreuve dans les blocs Abel.

La commission insiste à ce sujet sur les conditions toutes spéciales qui doivent être réalisées pour obtenir la détonation de ce produit et qui n'étaient nécessaires pour aucun des explosifs détonants qu'elle a eu l'occasion d'étudier jusqu'ici.

D'autre part, le modèle de cartouche soumis à la commission a bien résisté, pendant 2 mois environ, à l'action de l'humidité dans les conditions les plus dures de la pratique, et une détérioration accidentelle de l'enveloppe ne paraît pas devoir, dans un grand nombre de cas, entraîner la dégradation de cette cartouche.

La commission a conclu, de l'ensemble de ses études, que l'explosif de M. Favier, défini par la composition et les propriétés physiques de l'échantillon qui a été soumis à son examen, doit être considéré comme une dynamite à base active rentrant dans la catégorie de celles dont la loi du 8 mars 1875 a autorisé la fabrication éventuelle par l'industrie, et elle croit pouvoir ajouter que cet explosif présente des garanties suffisantes pour qu'il y ait lieu d'en autoriser la vente et l'emploi.

Rapport n° 51. — *Sur l'étude de la poudre vulcanienne.*

(1re section; rapporteur : M. Vieille.)

L'étude de la poudre vulcanienne a été soumise à la commission par dépêche ministérielle du 15 mars 1887.

Cet explosif, présenté par M. Espir, est une poudre composée de nitrate de soude, de soufre et de sciure de bois.

La commission a conclu, de l'examen des documents relatifs à cette étude, que la poudre vulcanienne, présentée par M. Espir, était identique à l'explosif Espir précédemment soumis à son examen par MM. Fairholme et C^ie^.

Elle maintient les conclusions de son rapport du 7 juillet 1881, aux termes desquelles :

L'explosif Espir ne saurait être considéré comme un explosif nouveau et ne présente pas de perfectionnement susceptible de supprimer les inconvénients qui se sont opposés jusqu'à ce jour à l'emploi pratique des poudres au nitrate de soude.

II. — Revue des travaux effectués pendant l'année 1887.

ÉTUDE N° 1.

Recherche d'un procédé d'épreuve des propriétés explosives du coton-poudre.

(Étude confiée aux 1re et 2e sections.)

La commission a rattaché à cette étude la recherche d'un procédé permettant d'évaluer la force explosive de matières qui ne détonent sous l'influence de l'amorce, ni à l'air libre, ni sous le faible bourrage que comporte l'épreuve dans les blocs Abel. Ces recherches, entreprises à l'occasion de l'étude de la nitronaphtaline et des explosifs Favier, ont montré que l'examen du mode de fragmentation de projectiles identiques par les divers explosifs pouvait conduire à des résultats satisfaisants, au point de vue de l'évaluation de leurs propriétés explosives.

ÉTUDE N° 7.

Étude de la nitromannite.

(Étude confiée aux 1re et 2e sections.)

Les études de stabilité et de conservation ont été poursuivies sur les échantillons de fabrication ancienne. Des cartouches mou-

lées, préparées à la fin de l'année 1880, sont encore, en janvier 1888, en parfait état de conservation.

ÉTUDE N° 35.

Étude de la stabilité du coton-poudre en râpures.

(Étude confiée à la 2e section.)

Les échantillons mis en observation dans le cours de l'année 1886 n'ont manifesté, jusqu'à ce jour, aucune altération. La commission estime qu'il n'y a pas d'intérêt à poursuivre plus longtemps l'expérience. Un rapport sera prochainement adressé.

ÉTUDE N° 44.

Mesure de la vitesse de transmission de la détonation dans les explosifs.

(Étude confiée aux 1re et 2e sections.)

Les expériences que la commission se proposait d'exécuter pour mesurer la vitesse de propagation de la détonation dans le nitrate de méthyle, placé dans des tubes de verre d'épaisseur variable, se sont trouvées retardées par suite de la difficulté que l'on rencontre pour assurer la transmission de la détonation dans les tubes minces, qui sont le plus souvent brisés à l'origine avant que le régime soit établi.

Les essais doivent être repris à Sevran avec de nouveaux dispositifs établis pour obtenir de meilleurs résultats.

ÉTUDE N° 57.

Étude de la romite.

(Étude confiée aux 1re et 2e sections.)

La commission n'avait pu commencer, faute d'échantillons de cette substance, l'étude de l'explosif dénommé *romite,* dont elle a été chargée.

De nouveaux renseignements, accompagnés d'un échantillon de 50^{kg}, envoyés par le ministre de la marine, lui sont parvenus vers la fin de l'année 1887 et ont permis de commencer les études. Il résulte de ces renseignements qu'il existerait deux sortes de romite : la romite terrestre et la romite marine. La première seule, jusqu'à ce jour, a été mise à la disposition de la commission, qui a commencé à faire subir les épreuves habituelles à ce produit, qui est un mélange, que l'on prépare seulement au moment de l'emploi, de chlorate de potasse, d'une part, et, d'autre part, d'azotate d'ammoniaque associé à un carbure d'hydrogène.

ÉTUDE N° 59.

Étude des explosifs Favier.

(Étude confiée à la 1re section.)

La commission a établi, à la date du 7 juillet 1887, un rapport concernant un type d'explosif présenté par M. Favier et rentrant dans une catégorie très générale de produits proposés par cet inventeur. Ce rapport a été analysé plus haut.

La commission estime que l'étude doit être considérée comme terminée; les recherches qu'elle poursuit sur l'emploi des explosifs de cette espèce aux usages militaires devant être rattachées à l'étude n° 36, relative à la recherche d'un nouvel explosif pour les usages militaires, feront, s'il y a lieu, l'objet d'une nouvelle étude.

ÉTUDE N° 60.

Étude d'un nouvel explosif de M. Pellier (Alix).

(Étude confiée à la 1re section.)

La commission a établi, à la date du 5 mai 1887, un rapport concernant la résine explosive de M. Pellier. Ce rapport est analysé plus haut.

ÉTUDE N° 63.

Étude des poudres Johnson.

(Étude confiée à la 1re section.)

Le ministre a invité la commission à considérer l'étude des poudres JOHNSON comme terminée, l'inventeur se refusant à fournir, dans des conditions acceptables, les échantillons demandés par la commission.

ÉTUDE N° 66.

Étude des questions relatives à l'emploi des explosifs en présence du grisou.

(Sous-Commission spéciale, présidée par M. MALLARD.)

Cette étude, exigeant des installations relativement considérables, n'a pu être commencée que vers la fin de novembre 1887. Les expériences ont été poursuivies très activement depuis cette époque dans dix-huit séances. Les procès-verbaux de ces séances et une note sommaire relative à l'avancement des travaux établis par le président de la sous-commission vont être adressés au ministre.

ÉTUDE N° 67.

Étude de la poudre vulcanienne.

(Étude confiée à la 1re section.)

La commission a établi, à la date du 5 janvier 1881, un rapport qui a été analysé plus haut.

ÉTUDE N° 69.

Examen d'un absorbant pour la dynamite.

(Étude confiée à la 1re section.)

Les expériences concernant la nature du produit et ses propriétés explosives sont actuellement terminées. Un rapport sera prochainement établi.

ANNEXE.

CHANGEMENTS SURVENUS DANS LE PERSONNEL DE LA COMMISSION PENDANT L'ANNÉE 1887.

Par décision ministérielle du 23 màrs 1887, MM. MALLARD, inspecteur général des mines; AGUILLON, ingénieur en chef des mines; LE CHATELIER, ingénieur ordinaire des mines, ont été, en vue de l'étude spéciale des questions relatives à l'emploi des explosifs en présence du grisou, nommés membres adjoints temporaires de la commission des substances explosives.

Par décision ministérielle du 28 mars 1887, M. VUILLEMIN, chef d'escadron d'artillerie de la marine, a été nommé membre adjoint de la commission des substances explosives, en remplacement de M. le capitaine HUGONIOT, décédé.

En conséquence, l'état de la commission, au 31 décembre 1887, est le suivant :

MM. BERTHELOT, Président;
CASTAN, Membre titulaire;
CORNU, Membre titulaire;
HAFFEN, Membre titulaire;
LAMBERT, Membre titulaire;
SARRAU, Membre titulaire;
SÉBERT, Membre titulaire;
VIEILLE, Membre titulaire, Secrétaire;
ABAUT, Membre adjoint;
BERTRAND, Membre adjoint;
BRUGÈRE, Membre adjoint;
BRUNEAU, Membre adjoint;
DÉSORTIAUX, Membre adjoint;
JACOB DE MARRE, Membre adjoint;
LIOUVILLE, Membre adjoint;
LOUIS, Membre adjoint;
VUILLEMIN, Membre adjoint;
MALLARD, Membre adjoint et temporaire;
AGUILLON, Membre adjoint et temporaire;
LE CHALELIER, Membre adjoint et temporaire.

Paris, le 1er mars 1888.

Le Secrétaire,
P. VIEILLE.

Vu :
Le Président,
BERTHELOT.

§ VI.

RAPPORT GÉNÉRAL SUR LES TRAVAUX EXÉCUTÉS PENDANT L'ANNÉE 1888.

Ce rapport, établi conformément à l'art. 4 du décret constituant la commission des substances explosives, comprend les objets suivants :

1° Analyse des rapports adressés au ministre pendant l'année 1888;

2° Revue des travaux effectués pendant la même année.

I. — Analyse des rapports établis pendant l'année 1888.

RAPPORT N° 52. — *Sur l'étude de la pyroxylite.*

(1re section; rapporteur : M. LIOUVILLE.)

La commission a été saisie, par dépêche ministérielle du 11 mai 1887, de l'étude de la pyroxylite, présentée par MM. ANTHOINE et GROUSELLE. Elle était invitée à rechercher si une autorisation de fabrication pouvait être accordée aux inventeurs, par application de l'art. 7 de la loi du 8 mars 1875, et, dans le cas de la négative, si l'État aurait intérêt à en entreprendre la fabrication.

Les divers types de pyroxylite présentés par MM. Anthoine et Grouselle sont formés d'acide picrique additionné d'oxyde de plomb et bichromate de potasse ou d'acide chromique. Ces matières sont sensibles au choc; leur force, évaluée en vase clos, est très faible en raison de l'équivalent très élevé du plomb.

La commission est d'avis que les pyroxylites ne constituent pas des explosifs nouveaux et que l'État n'a pas intérêt à en entreprendre la fabrication.

RAPPORT N° 53. — *Sur l'examen d'un absorbant pour la dynamite.*

(1re section; rapporteur : M. VIEILLE.)

Le ministre de la guerre a saisi la commission, par dépêche du 6 juillet 1887, de l'examen d'une demande formée par la société

française des explosifs, à l'effet d'être autorisée à employer dans la fabrication de la dynamite le papier de paille nitrée qui, d'après elle, n'est pas explosif au moment où il est employé comme absorbant, par suite de son mélange avec le nitrotoluène. Le ministre invitait la commission à lui faire connaître son avis sur la question de savoir si l'absorbant proposé doit être considéré comme un explosif.

L'échantillon soumis à la commission contenait, d'après l'analyse du laboratoire central des poudres :

Cellulose nitrée.....	50,81
Nitrotoluène.....	49,19

Enflammé en vase clos, il développe des pressions doubles, à charge égale, de celles que fournit la poudre de mine.

La commission estime que cette substance rentre dans la catégorie des matières monopolisées, conformément au jugement de la cour de cassation du 2 janvier 1858, aux termes duquel le monopole de l'État s'étend à toute agrégation de matières susceptibles d'explosion par l'effet du feu et produisant des effets identiques ou analogues à ceux de la poudre ordinaire, quels que soient d'ailleurs les éléments dont elle est formée.

Rapport n° 55. — *Sur l'étude des questions relatives à l'emploi des explosifs en présence du grisou.*

(Sous-commission spéciale; rapporteur : M. Mallard.)

La sous-commission spéciale, chargée de l'étude des questions relatives à l'emploi des explosifs en présence du grisou, a continué, pendant l'année 1888, les essais qu'elle a entrepris, en 1887, à la poudrerie de Sevran, où elle a fait installer un appareil destiné à la production du formène et une chaudière dans laquelle les explosifs sont amenés à la détonation au milieu d'un mélange d'air et de formène.

La sous-commission s'est servie, pour provoquer la détonation, de capsules tenant, en général, $1^{gr},5$ de fulminate; ces capsules étaient de celles qu'on appelle *renforcées*, c'est-à-dire dans lesquelles le fulminate est recouvert d'une sorte de chapeau métallique percé d'un trou central. Elle avait reconnu que ces capsules,

détonant seules, n'enflamment pas les mélanges grisouteux, tandis que l'inflammation est provoquée par les capsules non renforcées.

Elle a d'abord essayé les explosifs les plus connus, en les faisant détoner au milieu de mélanges gazeux explosifs à l'air libre, c'est-à-dire sans enveloppe extérieure. Elle a constaté que, dans ces conditions, la poudre noire de mine; le coton-poudre de guerre; la dynamite à 75 pour 100 de nitroglycérine; le coton-poudre dit *de mine,* c'est-à-dire titrant 193^{cc} de bioxyde d'azote ou grammes; le coton-poudre, encore moins titré, titrant 173^{cc} de bioxyde d'azote; la dynamite à l'ammoniaque de Paulilles; la dynamite-gomme de Paulilles; la dynamite gélatinée de Paulilles, en cartouches de 30^{gr} à 50^{gr}, enflamment le mélange gazeux extérieur toutes les fois que la substance détone.

Pour certains explosifs binaires, tels que la poudre pyroxylée tenant 57,4 de coton endécanitrique et 42,6 d'azotate de baryte, l'inflammation du mélange gazeux ne s'est, au contraire, produite qu'en quelque sorte exceptionnellement.

Pour expliquer ces différences d'action, la sous-commission a été amenée à faire quelques recherches théoriques sur la détonation des explosifs. Se servant des expériences de MM. Berthelot, Sarrau et Vieille, sur les quantités de chaleur rendues libres par la décomposition des substances explosives et sur les pressions développées en vase clos par cette décomposition; utilisant les formules linéaires proposées par MM. Mallard et Le Chatelier, pour représenter les variations, avec la température, des chaleurs spécifiques de l'acide carbonique, de la vapeur d'eau et des gaz parfaits; se servant enfin, pour exprimer la relation qui lie la pression, le volume et la température d'une masse gazeuse, de la formule de Hirn et Clausius, comme l'avait proposé M. Sarrau, la sous-commission a constaté qu'on pouvait, avec une assez grande approximation, calculer la température à laquelle sont portés les produits de la détonation d'une substance explosive qui se décompose suivant une loi connue.

Utilisant ensuite la chaudière close comme calorimètre à gaz, elle a pu observer la quantité de chaleur dégagée par la détonation de diverses substances explosives et la façon dont cette quantité de chaleur se modifie suivant les diverses circonstances dans lesquelles la détonation est provoquée. Elle a constaté, entre autres

résultats intéressants, que la quantité de chaleur communiquée à la masse gazeuse de la chaudière est beaucoup moindre lorsqu'une cartouche de dynamite détone dans un tube métallique complètement clos que lorsqu'elle détone à l'air libre, une certaine partie de la chaleur, rendue libre par la détonation de la substance, étant employée à briser le tube et à projeter avec violence les fragments. Cette quantité de chaleur, transformée en travail mécanique, varie avec la nature de l'explosif, avec sa plus ou moins grande compression, comme aussi avec l'épaisseur du tube. En faisant varier cette épaisseur, la sous-commission a constaté que la détonation de la dynamite cesse de produire l'inflammation d'un mélange grisouteux lorsque l'épaisseur du tube est telle que la quantité de chaleur non transformée en travail mécanique est inférieure à celle qui élèverait à 2200° environ les produits gazeux et solides de la détonation.

On pouvait conclure de là que les explosifs propres à être employés avec sécurité dans les mélanges grisouteux devaient se trouver parmi ceux dont la température de détonation est inférieure à 2200°.

Un certain nombre d'explosifs binaires satisfaisant à cette condition ont été, en effet, essayés avec succès.

Un premier rapport, en date du 5 juillet 1888, a fait connaître à la commission les résultats qui viennent d'être sommairement indiqués. (Voir ci-dessus, p. 355.)

Rapport n° 56. — *Sur l'étude de la romite terrestre.*

(2e section; rapporteur : M. Bruneau.)

Cette étude a été prescrite à la commission par dépêche ministérielle du 1er février 1886. Le ministre invitait la commission à lui faire connaître si cet explosif, inventé par M. Rudolf Sjobert, chimiste suédois, pouvait être considéré comme un explosif nouveau, aux termes de la loi du 8 mars 1875, et, dans le cas de la négative, si l'État aurait intérêt à en entreprendre la fabrication.

Les échantillons de romite, annoncés par le ministre, ne sont pas parvenus à la commission, malgré ses demandes réitérées au représentant de l'inventeur. Mais, à la date du 28 septembre 1887,

un échantillon de 17^{kg}, d'une variété de romite dite *terrestre,* rapporté de Suède par M. le capitaine de vaisseau Planche, à bord de l'aviso *le Château-Renault,* fut mis à la disposition de la commission.

La romite terrestre est formée d'un mélange fait, au moment de l'emploi, de chlorate de potasse (42 parties) et d'azotate d'ammoniaque (42 parties), enrobé dans des hydrocarbures, naphtaline et paraffine (16 parties).

Ce produit a été étudié au point de vue de l'hygrométricité, de la sensibilité au choc, de la force et de la facilité de détonation, à divers degrés de compression, sous l'influence des amorces.

La commission estime que la romite terrestre ne peut être considérée comme un explosif nouveau; que son mode d'emploi, par mélange au moment de l'usage, est impraticable au point de vue militaire; que cette matière, d'une conservation difficile en raison de ses propriétés hygrométriques, est inférieure, comme explosif de rupture, à la dynamite, au coton-poudre et à la mélinite, et que l'État n'aurait aucun intérêt à en entreprendre la fabrication.

Rapport n° 57. — *Sur l'étude de la bellite.*

(1re section; rapporteur : M. Bruneau.)

Par dépêche du 7 décembre 1887, le ministre de la guerre a soumis à l'examen de la commission des substances explosives l'explosif, dénommé *bellite,* présenté par M. Lamm, directeur de la poudrerie de Rotebro, près Stockholm (Suède). La commission était invitée à faire connaître son avis au sujet de l'utilisation possible de cet explosif aux usages tant militaires qu'industriels.

La bellite est, d'après l'inventeur, un mélange de 80 parties de nitrate d'ammoniaque et de 20 parties de binitrobenzine.

La commission a soumis la bellite à des essais d'hygrométricité, de sensibilité au choc, de facilité de détonation sous l'influence des amorces au fulminate de mercure. La commission a également étudié la force de la bellite par la mesure des pressions développées en vase clos; son mode d'action dans les projectiles, comparativement aux explosifs tels que la mélinite, la crésylite et les naphtalines nitrées; elle a mesuré les globes de compression produits par l'explosion souterraine de cartouches de cette substance,

comparativement avec la mélinite, et enfin les propriétés brisantes de la bellite à divers états de compression.

La commission a conclu de ses recherches que, en raison de la sécurité de son emploi et de sa puissance, peu inférieure à celle de la dynamite, la bellite pouvait être employée avantageusement dans les travaux de mines, malgré certaines difficultés pratiques résultant de sa détonation incomplète, lorsqu'elle a été soumise à une compression exagérée.

L'emploi de la bellite paraît peu avantageux pour les usages militaires, en raison de l'infériorité qu'elle présente, au point de vue de la force, par rapport à la mélinite.

RAPPORT N° 58. — *Sur l'examen des résultats des essais de cordeaux détonants par les écoles du génie.*

(2e section; rapporteur : M. LAMBERT.)

Par dépêche du 5 juin 1888, le ministre de la guerre a communiqué à la commission les rapports résumant les expériences faites par les écoles du génie, pendant l'année 1886-1887, sur les divers types de cordeaux détonants, en l'invitant à émettre un avis sur le choix à faire entre ces cordeaux pour les travaux du génie.

La commission estime que le cordeau à enveloppe métallique est d'un usage plus certain que le cordeau souple; toutefois, il lui paraît impossible de décider, surtout en présence des opinions contradictoires des écoles du génie, si l'infériorité du cordeau métallique, au point de vue du poids et de la résistance à la traction, a ou n'a pas une importance considérable pour les travaux spéciaux de ce service; la commission pense que les services appelés à se servir du cordeau détonant peuvent seuls trancher cette question.

RAPPORT N° 59. — *Sur l'étude des moyens à employer pour la destruction des voies ferrées étrangères.*

(2e section; rapporteur : M. BRUNEAU.)

Cette étude a été provoquée par la commission des substances explosives, qui a demandé au ministre, à la date du 23 juin 1884,

l'installation, à la poudrerie de Sevran-Livry, des divers types de voies ferrées employées à l'étranger.

La commission a étudié les dispositifs les plus avantageux pour obtenir la rupture de ces voies au moyen des pétards réglementaires.

Rapport n° 60. — *Sur l'étude des questions relatives à l'emploi des explosifs en présence du grisou.*

(Sous-commission spéciale; rapporteur : M. Mallard.)

Dans une seconde série d'expériences, la sous-commission a poursuivi ses recherches théoriques sur la détonation des explosifs, en se proposant surtout pour but de préciser les différences de réaction qui se produisent lorsque la détonation a lieu à l'air libre et lorsqu'elle a lieu dans un vase clos, mais susceptible d'être brisé par la détonation elle-même.

Elle a comparé l'inflammabilité, sous l'influence de la détonation des explosifs, de mélanges d'air et de gaz d'éclairage et de mélanges d'air et de formène; elle a constaté que la différence est beaucoup moins considérable qu'on n'eût été tenté de le croire.

Enfin elle est arrivée, après de nombreuses expériences, à recommander, pour l'emploi dans les mines à grisou, divers mélanges binaires dans lesquels, l'azotate d'ammoniaque étant un élément commun, l'autre élément est la dynamite, l'azotate cuproammonique, la naphtaline, le coton octonitrique, la mononitronaphtaline, la binitronaphtaline.

La sous-commission a constaté que ces mélanges, faits dans des proportions convenables, n'allument qu'exceptionnellement les mélanges gazeux explosifs au milieu desquels ils détonent sans enveloppe, même lorsque le poids de la cartouche atteint 200^{gr}; que, d'autre part, l'inflammation du mélange gazeux ne s'est jamais produite lorsque le mélange a été bourré dans un tube métallique de faible épaisseur.

Les résultats de cette nouvelle série d'expériences ont été communiqués, dans sa séance du 8 novembre 1888, à la commission qui, en approuvant le rapport, a émis le vœu que les mélanges reconnus aptes à assurer la sécurité des mines à grisou fussent fabriqués par

les soins de l'administration et distribués à un certain nombre d'exploitations houillères, pour y être soumis à des essais pratiques.

Rapport n° 61. — *Sur l'étude de la tribénite.*

(1re section; rapporteur : M. Liouville.)

La commission a été saisie de l'étude de la tribénite, par dépêche ministérielle du 23 août 1888. Le ministre invitait la commission à lui faire connaître si cet explosif pouvait être considéré comme nouveau, aux termes de l'art. 7 de la loi du 8 mars 1875, et, dans le cas de la négative, si l'État aurait intérêt à en entreprendre la fabrication.

La tribénite, présentée par M. Cadoret, est une poudre à base de picrate d'ammoniaque et de salpêtre, soufre, charbon (80 pour 100), additionnée d'un grand nombre de produits accessoires, tels que nitrate d'ammoniaque, nitronaphtaline, bichromate d'ammoniaque, sucre et carbures d'hydrogène liquides.

La commission estime que la substance présentée par M. Cadoret n'est pas un explosif nouveau et que l'État n'a pas intérêt à en entreprendre la fabrication.

Rapport n° 62. — *Sur l'étude de l'inexplosible Cahuc.*

(2e section; rapporteur : M. Lambert.)

Le ministre de la guerre a soumis à la commission des substances explosives, par dépêche du 30 août 1888, une demande formée par M. Cahuc, en vue d'obtenir l'autorisation de fabriquer et d'exploiter en France une poudre de mine nouvelle, désignée sous le nom d'*inexplosible Cahuc*.

L'inexplosible Cahuc est une poudre formée de salpêtre, soufre et noir de fumée, avec addition de sciure de bois et d'une petite quantité de sulfate de fer.

M. Cahuc, dans sa demande d'autorisation, indique qu'il sait que les matières premières de son explosif doivent, aux termes de la législation existante, lui être fournies par l'État, et sollicite, par suite, l'extension en sa faveur d'un privilège déjà accordé à d'autres industriels.

La commission a constaté, en effet, que l'inexplosible Cahuc

n'est pas un explosif nouveau; elle estime, d'ailleurs, que l'État ne saurait avoir intérêt à en entreprendre la fabrication; mais elle pense qu'au point de vue technique il n'y a aucune raison de refuser à M. Cahuc l'autorisation qu'il demande de fabriquer des cartouches comprimées avec des poudres de mine livrées par l'État, aux dosages indiqués dans son mémoire.

II. — Revue des travaux effectués pendant l'année 1888.

Les études en cours pendant l'année 1888 étaient, déduction faite des études confidentielles, au nombre de 41; 7 d'entre elles ont été terminées, dans la même année, par des rapports analysés plus haut.

Un certain nombre de ces études n'ont donné lieu à l'établissement d'aucune pièce dans l'année écoulée. Pour quelques études, les résultats peu favorables obtenus antérieurement ont conduit la commission à suspendre les essais; d'autres études ont paru désormais sans objet, en raison de l'adoption récente de nouveaux explosifs de guerre.

La commission a pensé qu'il y aurait intérêt à clore, par une mention insérée dans le rapport annuel, les études pour lesquelles l'importance des résultats acquis ne comporte pas l'établissement d'un rapport spécial à adresser au ministre.

La commission s'est réservé de conserver ouvertes des études d'un ordre général, relatives aux principaux types d'explosifs, dans lesquelles pourront prendre place les documents émanant, soit des services militaires, soit des recherches propres de la commission.

Dans cet ordre d'idées, elle a clos les études n^{os} 1A et 1D, 55, 56, relatives à divers modes d'évaluation de la puissance brisante des explosifs employés à l'air libre; les études n^{os} 2A et 2B, relatives aux modes d'emploi de la dynamite et du coton-poudre humide aux opérations de guerre; elle a clos également les études n^{os} 4, 4A, 45, relatives à diverses variétés de cordeaux détonants, les documents relatifs aux essais de ces divers cordeaux devant trouver place dans l'étude générale n° 75.

Le sommaire ci-dessous résume brièvement l'état des 41 études en cours pendant l'année 1888 et les décisions de la commission en ce qui concerne leur maintien ou leur clôture.

ÉTUDE N° 1.

Recherche d'un procédé d'épreuve des propriétés explosives du coton-poudre.

Cette étude avait pour but de distinguer les unes des autres les diverses variétés de coton-poudre, mais la sensibilité des procédés d'épreuves essayés n'est pas suffisante pour établir une distinction de cette espèce, et ceci résulte avec évidence des essais qui ont été faits par ces procédés à un point de vue général (études, n^{os} 1A, 1D, 55 et 56). La conclusion de l'étude n° 1, subordonnée ainsi à celles des études qui viennent d'être mentionnées, ne paraît point pouvoir être maintenant obtenue, et, aucun document s'y rattachant n'ayant été élaboré depuis plus d'une année, la commission estime qu'elle a terminé ce qu'elle pouvait faire dans l'état actuel des choses et qu'il n'y a pas lieu de maintenir sur ce sujet une étude spéciale.

ÉTUDE N° 1C.

Mesure de la force explosive par l'écrasement de cylindres métalliques.

La commission emploie depuis longtemps ce procédé d'épreuves pour apprécier les effets produits par la détonation à l'air libre des divers explosifs. Bien qu'une pareille méthode ne soit pas susceptible d'une grande précision, elle permet, par des essais un peu nombreux, mais d'une exécution très rapide, d'établir des moyennes classant, avec quelque approximation, les explosifs d'après leurs propriétés détonantes à l'air libre.

La commission estime qu'il y a lieu de clore cette étude.

ÉTUDE N° 1D.

Mesure de la force explosive par la détonation au contact des plaques métalliques.

Ces mesures ne sont point susceptibles de la précision qu'elles avaient d'abord semblé promettre; mais, lorsqu'il s'agit d'un ren-

seignement simplement approximatif et de pratique courante, elles ont donné un procédé d'épreuve commode.

Le mode d'épreuve définitivement adopté fait l'objet de l'étude n° 55, et la commission estime qu'il y a lieu de clore l'étude n° 1D.

ÉTUDE N° 2A.

Mode d'emploi de la dynamite aux opérations de guerre.

ÉTUDE N° 2B.

Mode d'emploi du coton-poudre humide aux opérations de guerre.

La commission estime que ces études ont perdu tout intérêt depuis l'introduction de la mélinite dans les approvisionnements militaires et qu'il n'y a pas lieu de les poursuivre.

ÉTUDE N° 3.

Emploi du coton-poudre dans les mines.

Les résultats obtenus dans les expériences faites à la suite du rapport de la commission, relatif à cette étude, n'ont pas été de nature à en modifier les conclusions, et les questions de cet ordre se trouvent rattachées à l'étude de l'emploi des explosifs en présence du grisou.

La commission estime qu'il y a lieu de clore l'étude.

ÉTUDE N° 4.

Étude des tubes détonants au coton-poudre et à l'amidon-poudre.

La deuxième partie de cette étude, comprenant 24 procès-verbaux et 17 pièces annexes, ne paraît pas comporter un rapport; d'autre part, aucun document n'a été établi pendant le cours de l'année 1888.

La commission pense qu'il convient de clore cette étude.

ÉTUDE N° 4A.

Étude des tubes détonants à la nitromannite.

La commission pense également qu'il n'y a pas lieu de conserver ouverte l'étude des tubes détonants à la nitromannite.

ÉTUDE N° 5.

Étude des effets des chocs sur les composés explosifs azotés.

Bien qu'aucun mode d'essai n'ait permis d'obtenir des données exactes sur la sensibilité des explosifs, on a pu, par des moyennes très nombreuses, obtenir quelques résultats dans les essais relatifs à chacun des explosifs nouveaux soumis à la commission. L'étude reste ouverte pour réunir ces résultats particuliers.

ÉTUDE N° 6.

Étude de l'action du camphre et des produits analogues sur les composés explosifs azotés.

Cette étude, qui a fait l'objet de nombreuses expériences, n'a pas donné, tant par les propres essais de la commission que par ceux qui lui ont été communiqués, de résultats précis. La commission n'a donc pas jugé qu'il y ait lieu d'établir un rapport spécial sur cette question et considère que l'étude peut être regardée comme terminée.

ÉTUDE N° 7.

Étude de la nitromannite.

Cette étude est maintenue en vue d'expériences de conservation qui se poursuivent au laboratoire central des poudres et salpêtres.

ÉTUDE N° 8.

Étude du coton-poudre paraffiné.

Aucun document nouveau n'a été établi pendant l'année 1888, mais la commission estime que l'étude doit rester ouverte en vue de recueillir les renseignements relatifs à la conservation du coton-poudre paraffiné fournis par les services qui emploient cet explosif.

ÉTUDE N° 10.

Conditions de détonation des substances explosives; modes d'amorçage.

Cette étude générale permet le classement des renseignements communiqués à la commission sur cette question. Il n'y a pas eu de documents établis pendant le cours de l'année 1888.

ÉTUDE N° 19.

Recherche de l'influence des conditions du chargement sur le développement des pressions dans l'âme des bouches à feu.

La commission estime que cette étude ne peut être poursuivie dans les conditions actuelles et qu'il n'y a pas lieu, pour le moment, de la maintenir parmi les études en cours.

ÉTUDE N° 23.

Étude des poudres au picrate d'ammoniaque.

La commission n'a enregistré aucun fait nouveau en 1888. L'étude est maintenue.

ÉTUDE N° 35.

Étude sur la stabilité du coton-poudre en râpures.

Les essais ont montré que la conservation du coton-poudre en râpures est identique à celle du coton-poudre ordinaire.

La durée déjà longue de conservation permettra de clore prochainement la présente étude.

ÉTUDE N° 36.

Recherche d'un nouvel explosif pour les usages militaires.

La commission estime qu'il y a lieu de clore cette étude, en raison de l'adoption de la mélinite pour les approvisionnements de guerre.

ÉTUDE N° 40.

Étude d'une nouvelle poudre à double effet, à base de goudron.

L'étude des poudres à double effet a donné lieu à un rapport déjà ancien; depuis ce rapport, M. Turpin a proposé l'emploi des poudres à double effet pour l'amorçage du coton-poudre humide. L'utilisation indiquée par M. Turpin présenterait des inconvénients de toute nature qui ne laissent aucun intérêt à la proposition qu'il avait faite. L'étude n° 40 paraît pouvoir être close dès à présent, sans qu'il y ait lieu d'entreprendre des expériences dont il ne peut résulter actuellement aucun bénéfice.

ÉTUDE N° 44.

Mesure de la vitesse de transmission de la détonation dans les explosifs.

De nombreux résultats ont été obtenus déjà; l'étude reste ouverte pour l'essai des explosifs nouveaux qui paraîtront présenter, à ce point de vue, quelque intérêt théorique ou pratique.

ÉTUDE N° 45.

Étude d'un cordeau détonant souple.

La commission, après avoir constaté le fonctionnement satisfaisant de ce cordeau, n'a pas pensé qu'il y eût lieu pour elle d'en

continuer l'étude, et elle estime que les documents relatifs à l'emploi de ce cordeau, qui pourraient lui parvenir, trouveront place dans l'étude générale des cordeaux détonants (n° 75).

ÉTUDE N° 47.

Étude de la dynamite-paille.

La commission se propose d'expérimenter prochainement les nouvelles cartouches qui ont été mises à sa disposition et qui doivent, d'après les renseignements fournis par l'inventeur, jouir de propriétés plus avantageuses que celles des anciens échantillons.

ÉTUDE N° 49.

Pétard de coton-poudre pour la cavalerie.

En raison de l'adoption des pétards du nouveau modèle, la commission estime que cette étude peut être considérée comme close.

ÉTUDE N° 50.

Étude des propriétés de l'acide picrique.

Cette étude est actuellement close; elle a été terminée par l'examen des modes de décomposition de l'acide picrique, qui a fait l'objet d'une communication de M. le Président à l'Académie des Sciences.

ÉTUDE N° 55.

Mesure de la force explosive par le cintrage au contact des plaques métalliques.

Les recherches avaient pour objet de donner à la méthode plus de précision; elles n'ont point donné des résultats assez nets pour qu'il ait été possible de les poursuivre à ce point de vue; la com-

mission se sert quelquefois de ce procédé d'épreuve dans l'étude des explosifs qui lui sont soumis, mais l'étude générale ne pourrait être poursuivie avec succès qu'après l'invention d'un dispositif nouveau qui fait encore défaut.

ÉTUDE N° 56.

Mesure de la force explosive par l'emboutissage à distance des plaques métalliques.

Aucun document nouveau n'a été établi depuis plus d'une année pour cette étude, que la commission ne juge pas devoir poursuivre.

ÉTUDE N° 57.

Étude de la romite.

Cette étude a donné lieu à l'établissement du rapport n° 56, analysé plus haut, et est ainsi terminée.

ÉTUDE N° 59.

Étude des explosifs Favier.

Le rapport n° 50, du 7 juillet 1887, a clos l'étude en ce qui concerne le type pour lequel l'inventeur sollicitait une autorisation de fabriquer en France. Les recherches relatives aux explosifs de cette nature ont pris place dans l'étude n° 66, de l'emploi des explosifs dans les mines grisouteuses.

L'étude n° 59 peut donc être considérée comme terminée.

ÉTUDE N° 63.

Étude des poudres Johnson.

Cette étude a été supprimée par ordre ministériel du 15 janvier 1888.

ÉTUDE N° 64.

Étude des moyens à employer pour la destruction des voies ferrées étrangères.

Cette étude a été terminée par le rapport n° 59, du 2 août 1888, analysé plus haut.

ÉTUDE N° 66.

Étude des questions relatives à l'emploi des explosifs en présence du grisou.

Cette étude a donné lieu, pendant le cours de l'année 1888, à l'établissement des rapports n^{os} 55 et 60, analysés dans la première partie de ce compte rendu.

L'administration a donné satisfaction au vœu émis par la commission dans sa séance du 8 novembre 1888, « que les mélanges reconnus aptes à assurer la sécurité de l'exploitation minière fussent fabriqués par les soins du service des poudres et distribués à un certain nombre d'exploitations houillères pour y être soumis à des essais pratiques » : ces essais se poursuivent, en ce moment, dans les mines d'Anzin, de Ronchamp, de Blanzy et de Firminy.

La commission a déjà reçu communication, dans sa séance du 6 décembre 1888, des essais, du reste satisfaisants, faits sur les mélanges de l'azotate d'ammoniaque avec la dynamite, le coton octonitrique et le binitrotoluène. Les résultats des essais faits avec les autres mélanges pourront prochainement être mis sous les yeux de la commission.

ÉTUDE N° 68.

Étude de la pyroxylite.

Cette étude, qui est terminée, a donné lieu à l'établissement du rapport n° 52, dont l'analyse a été faite plus haut.

ÉTUDE N° 69.

Examen d'un absorbant pour la dynamite.

Cette étude a été terminée, dans le cours de l'année 1888, par le rapport n° 53 analysé plus haut.

ÉTUDE N° 70.

Essais d'enveloppes en celluloid pour cartouches de rupture et cartouches de mine.

Les recherches sur ce sujet n'ont point été poursuivies en 1888. L'emploi des nouveaux explosifs semble avoir enlevé à cette étude une grande partie de l'intérêt qu'elle présentait d'abord, et il convient de la regarder comme terminée. L'expérience acquise dans ces derniers temps, par les services de la marine, n'a d'ailleurs point été favorable aux enveloppes de cette nature.

ÉTUDE N° 72.

Étude d'un cordeau détonant au fulminate de mercure.

Cette étude est en cours d'exécution.

ÉTUDE N° 73.

Étude de la bellite.

L'étude de cet explosif a été terminée, en 1888, par le rapport n° 57, qui est analysé plus haut.

ÉTUDE N° 74.

Examen des demandes d'importation de dynamites présentées par M. Faille.

L'étude n'a pu être entreprise, jusqu'à présent, faute des échantillons nécessaires. M. Faille a signalé à la commission les diffi-

cultés administratives qu'il rencontre pour l'expédition des échantillons qui lui sont demandés.

ÉTUDE N° 75.

Étude des cordeaux détonants, en général.

Cette étude a donné lieu, en 1888, à l'établissement du rapport n° 59 analysé plus haut.

La commission se propose de compléter ses recherches sur la vitesse de propagation de l'onde explosive. L'étude reste donc ouverte, et elle permettra, en outre, de classer les documents relatifs aux diverses espèces de cordeaux détonants dont l'étude spéciale est supprimée.

ÉTUDE N° 76.

Étude de la tribénite.

Cette étude a été terminée par le rapport n° 61, dont l'analyse a été donnée plus haut.

ÉTUDE N° 77.

Étude de l'inexplosible Cahuc.

L'étude de cet explosif a donné lieu, en 1888, à l'établissement du rapport n° 62 analysé plus haut, et est ainsi terminée.

ÉTUDE N° 78.

Étude de la vulcanite.

L'étude de cet explosif n'a pu être entreprise, l'inventeur s'étant refusé à fournir les échantillons nécessaires. Cette situation a été signalée au ministre par lettre de M. le Président, en date du

11 décembre 1888. Il semble donc qu'il y ait lieu de considérer l'étude de la vulcanite comme supprimée.

En résumé, les études retenues par la commission sont mentionnées dans le tableau suivant :

NUMÉROS des études.	TITRES DES ETUDES.	SOUS-COMMISSIONS ou sections auxquelles elles sont confiées.
5	Étude des effets des chocs sur les composés azotés.	1re section.
7	Étude de la nitromannite.....	1re section.
8	Étude du coton-poudre paraffiné.....	2e section.
10	Conditions de détonation des substances explosives. Modes d'amorçage.....	2e section.
23	Étude des poudres au picrate d'ammoniaque.....	3e section.
35	Étude de la stabilité du coton-poudre en râpures..	1re section.
44	Mesure de la vitesse de transmission de la détonation dans les explosifs.....	1re et 2e sections.
47	Étude de la dynamite-paille.....	2e section.
66	Étude des questions relatives à l'emploi des explosifs en présence du grisou.....	Sous-commission spéciale.
71	Étude des dérivés nitrés de la naphtaline.....	1re section.
72	Étude d'un cordeau détonant au fulminate de mercure.....	2e section.
74	Examen des demandes d'importation de dynamites présentées par M. Faille.....	1re section.
75	Étude des cordeaux détonants, en général.....	2e section.

Paris, le 7 février 1889.

Vu :

Le Président,

BERTHELOT.

Le Secrétaire,

P. VIEILLE.

ANNEXE.

CHANGEMENTS SURVENUS DANS LE PERSONNEL DE LA COMMISSION PENDANT L'ANNÉE 1888.

Aucune mutation n'étant survenue dans le cours de l'année 1888, la composition de la commission, au 31 décembre de la même année, reste comme il est indiqué ci-dessus (p. 647).

FIN DE LA PREMIÈRE PARTIE.

DEUXIÈME PARTIE.

DOCUMENTS ADMINISTRATIFS.

FRANCE[1].

N° 12.

ENVOI D'UNE CIRCULAIRE DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE TEMPÉRANCE.

(Lettre collective n° 6).

LE MINISTRE DE LA GUERRE

A MM. L'INSPECTEUR GÉNÉRAL DES POUDRES ET SALPÊTRES;
LES DIRECTEURS DES ÉTABLISSEMENTS DU SERVICE DES POUDRES ET SALPÊTRES.

Paris, le 25 janvier 1882.

Messieurs, la société française de tempérance m'a exprimé l'intention de faire participer aux récompenses qu'elle décerne annuellement le personnel secondaire des établissements du service des poudres et salpêtres.

Je ne puis qu'applaudir à l'œuvre moralisatrice que poursuit cette société, et je verrais avec plaisir son utile influence s'étendre à des établissements où, plus que partout ailleurs, la tempérance est désirable chez le personnel ouvrier.

Je vous transmets ci-joint, en conséquence, une circulaire de la société, indiquant les conditions auxquelles doivent satisfaire les candidats présentés pour des récompenses, conditions que je vous prie de porter à la connaissance du personnel sous vos ordres.

Vous auriez, le cas échéant, à adresser directement au secrétariat général de la société (6, rue de l'Université, à Paris) les propositions que vous croiriez devoir établir en faveur d'agents de l'établissement dont la direction vous est confiée.

(1) Voir 1, *3 et *103, les n^os^ 1 à 11.

Les ressources de l'œuvre étant assez limitées, il conviendra de ne présenter qu'un petit nombre de candidats, choisis parmi les plus méritants.

Pour le ministre et par son ordre :

Le directeur des poudres et salpêtres,

G. MAUROUARD.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE TEMPÉRANCE,

SECRÉTARIAT GÉNÉRAL, 6, RUE DE L'UNIVERSITÉ.

Paris, le 8 janvier 1882.

MONSIEUR,

Cette année, comme les précédentes, la société française de tempérance se propose d'accorder des récompenses :

Aux personnes qui lui seront signalées par leur zèle en faveur de la tempérance (§ c de l'article 2 des statuts).

Nous avons pensé que les chefs et directeurs des grandes administrations publiques et privées voudraient bien contribuer à nous fournir les renseignements qui nous sont nécessaires à cet effet.

C'est dans cet espoir, Monsieur, que nous venons vous demander de vouloir bien nous désigner, en les classant par ordre de mérite, avec les noms et prénoms, l'âge, l'état civil et le nombre d'enfants, ceux de vos employés, serviteurs et ouvriers auxquels nous pourrions plus particulièrement accorder des médailles, avec ou sans livret de la caisse d'épargne.

Des livrets ou des rappels de médailles (sans délivrance de nouvelles médailles ou de nouveaux diplômes) peuvent être accordés aux personnes qui ont déjà reçu des récompenses remontant au moins à deux années.

La première condition imposée aux candidats est d'être notoirement tempérants, et d'avoir au moins dix années de bons services; mais, parmi ceux qui remplissent ces conditions, nous plaçons en première ligne les candidats qui font des efforts pour ramener ou maintenir dans la voie de la tempérance les personnes avec lesquelles ils sont en rapports journaliers.

Comme la séance dans laquelle seront décernées les récompenses aura

lieu le dimanche 26 mars, nous vous serons obligés de nous faire parvenir votre réponse avant le 10 février 1882.

Agréez, Monsieur, l'assurance de notre considération la plus distinguée.

Les présidents d'honneur,

DUMAS, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences.
Édouard LABOULAYE, de l'Institut, sénateur.
Sir Richard WALLACE.

Le président,

Frédéric PASSY, de l'Institut, député.

Les vice-présidents,

Dr Théophile ROUSSEL, de l'Académie de médecine, sénateur.
Professeur DUVERGER.
Professeur LEVASSEUR, de l'Institut.
Professeur BOUCHARDAT, de l'Académie de médecine.

Le secrétaire général,

L. LUNIER, inspecteur général des services administratifs au ministère de l'intérieur.

N° 13.

ESCORTE DES CONVOIS DE POUDRES, DE MUNITIONS DE GUERRE ET DE DYNAMITE DE L'ÉTAT, CIRCULANT SUR LES VOIES DE TERRE.

(Lettre collective n° 15.)

LE MINISTRE DE LA GUERRE

A MM. L'INSPECTEUR GÉNÉRAL DES POUDRES ET SALPÊTRES;
LES DIRECTEURS DES ÉTABLISSEMENTS DU SERVICE DES POUDRES ET SALPÊTRES.

Paris, le 7 mars 1882.

Messieurs, le règlement du 30 mars 1877, relatif au transport par chemin de fer des poudres et munitions de guerre, a supprimé les escortes en cours de route, lesquelles ne sont plus nécessaires que lorsqu'il y a lieu de réexpédier par terre des convois de poudres ou de munitions de guerre.

D'après le règlement du 10 janvier 1879, qui s'applique spécialement au transport de la dynamite par chemins de fer, les convois de dynamite ne doivent pas non plus être escortés pendant le trajet, et l'escorte ne devient obligatoire pour ces convois que lorsqu'ils quittent la voie ferrée pour prendre la voie de terre jusqu'à destination.

En vue d'éviter certaines difficultés soulevées par l'application de ces règlements, j'ai, de concert avec mes collègues des travaux publics et de l'intérieur, arrêté les dispositions suivantes :

La réquisition d'escorte, obligatoire aux termes du règlement du 24 septembre 1812, sera, au point de départ, remise désormais très exactement par l'agent expéditeur au chef de l'escorte, pour accompagner constamment la lettre de voiture.

MM. les directeurs des poudreries auront à faire inscrire, sur chaque réquisition d'escorte, au bas de leur signature, la mention suivante :

La présente réquisition sera remise par le chef d'escorte au chef de la gare de départ et jointe à la lettre de voiture, pour être utilisée, en cas de besoin, à la gare d'arrivée ou en cours de route, par les chefs de gare du chemin de fer.

Pour le ministre et par son ordre :

Le directeur des poudres et salpêtres,

G. MAUROUARD.

N° 14.

NOUVELLE COMPOSITION DES CAISSES A POUDRE DE CHASSE.

(Extrait de la lettre collective n° 19.)

LE MINISTRE DE LA GUERRE

A MM. L'INSPECTEUR GÉNÉRAL DES POUDRES ET SALPÊTRES;
LES DIRECTEURS DES ÉTABLISSEMENTS DU SERVICE DES POUDRES ET SALPÊTRES.

Paris, le 11 avril 1882.

..... J'ai arrêté, de concert avec M. le ministre des finances, la

composition suivante pour les caisses à poudre de chasse de 25^{kg} :

50 boîtes de 2^{kg} contenant 10^{kg} de poudre,
150 » 1^{kg} » 15^{kg} »

soit, dans une caisse contenant 25^{kg} de poudre, pour les nombres de boîtes :

$\frac{1}{4}$ en boîtes de 2^{kg},
$\frac{3}{4}$ » 1^{kg},

et pour les poids de poudre correspondants :

$\frac{2}{5}$ en boîtes de 2^{kg},
$\frac{3}{5}$ » 1^{kg}.

BILLOT.

N° 15.

EXPLOSION SURVENUE LE 24 JANVIER 1882, DANS UN ATELIER D'ENCARTOUCHAGE DE LA DYNAMITERIE DE PAULILLES.

(Lettre collective n° 20.)

LE MINISTRE DE LA GUERRE

A MM. L'INSPECTEUR GÉNÉRAL DES POUDRES ET SALPÊTRES;
LES DIRECTEURS DES ÉTABLISSEMENTS DU SERVICE DES POUDRES ET SALPÊTRES.

Paris, le 9 mai 1882.

Messieurs, une explosion s'est produite, le mardi 24 janvier 1882, dans un atelier d'encartouchage à la main de la fabrique de dynamite de Paulilles, et a causé la mort de 19 personnes : 1 contre-maître, 1 ouvrier et 17 ouvrières.

Bien qu'il s'agisse d'un établissement exploité par l'industrie privée, l'explosion du 24 janvier présente, pour le service des poudres et salpêtres, un intérêt qui motive l'envoi d'un exemplaire ci-joint du rapport, établi par M. l'ingénieur COUTAGNE, sur la cause, les circonstances et les effets de ce malheureux accident.

La cause est restée incertaine, mais les effets démontrent une

fois de plus la nécessité de la division du travail dans les ateliers à poudre.

Je suis amené à prescrire cette division, non seulement pour l'atelier d'encartouchage de la dynamite à Vonges, mais encore pour les ateliers d'emboîtage dans toutes les poudreries.

Des études seront entreprises et des projets me seront adressés le plus tôt possible pour la réalisation de ce *desideratum*.

Il me sera, en outre, accusé réception de la présente lettre collective.

BILLOT.

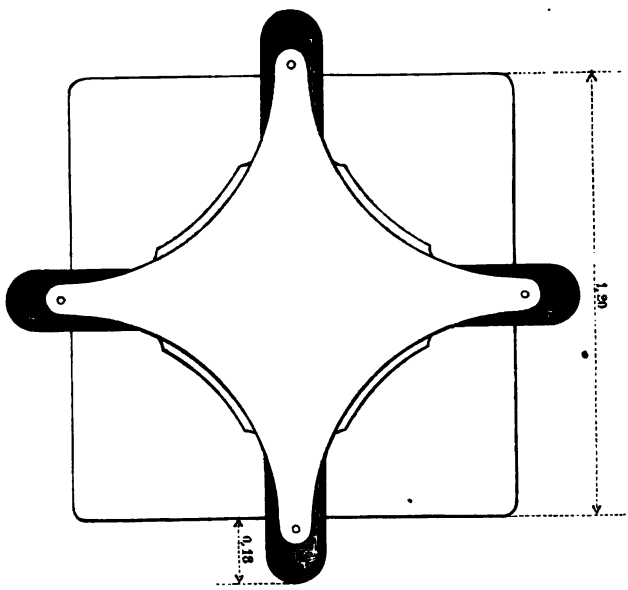
Rapport sur l'explosion du 24 janvier 1882, à la fabrique de dynamite de Paulilles.

Le mardi 24 janvier 1882, à 2h 30m de l'après-midi environ, une explosion s'est produite dans un atelier d'encartouchage à la main de la fabrique de dynamite de Paulilles, et a causé la mort de 19 personnes : 1 ouvrier, 17 ouvrières et 1 contre-maître. Par télégramme, en date du 26 janvier, M. le ministre de la guerre m'a prescrit de me rendre d'urgence à Paulilles, pour étudier les circonstances, les effets et les causes de cette explosion. J'ai passé les journées du samedi 28 et du lundi 30 à visiter la fabrique, et plus particulièrement les alentours du point qui a été le théâtre de la catastrophe, et à recueillir les renseignements nécessaires à mon étude. Ces renseignements m'ont été fournis principalement par MM. BENDER et HENNEQUIN, directeur et ingénieur de la fabrique, et par M. H. GAY, surveillant spécial, attaché à la fabrique pour le compte de l'État. La gravité de l'accident, le nombre des victimes, et la réputation de parfaite innocuité qu'avait toujours eue jusqu'ici l'opération de l'encartouchage à la main, me faisaient un devoir de chercher avec le plus grand soin à déterminer les causes de cette explosion ; malheureusement, ainsi que nous allons le voir, les circonstances sont telles que la plus grande incertitude régnera toujours sur les causes de ce triste événement.

Circonstances de l'explosion. — L'encartouchage à la main se fait à Paulilles de la façon suivante : la dynamite est versée à la partie centrale d'une table carrée en bois, recouverte de zinc (*fig.* 1 et 2). Sur le milieu de chaque côté se trouve un bec en zinc devant lequel se tient une ouvrière; celle-ci prend un étui de cartouche, en papier parchemin et à joint hélicoïdal collé, que vient de préparer une autre ouvrière placée à côté d'elle; elle en coiffe un mandrin en bois, engage ce mandrin et l'étui

qui le couvre dans un tube en zinc, ou en laiton, ouvert aux deux bouts ($0^m,120$ de long, $0^m,024$ de diamètre intérieur, $0^m,026$ de diamètre extérieur), retire le mandrin et place l'étui, en le tenant de la main gauche, au-dessous du petit ajutage en zinc qui est disposé à la partie inférieure du bec de la table. Attirant alors à elle la dynamite avec la main droite, elle la pousse avec un bourroir en bois dans l'ajutage légèrement conique du bec, et la dynamite pressée remplit peu à peu l'étui. Celui-ci une fois plein, l'ouvrière le fait glisser hors du tube, le passe à sa voisine, qui me-

Fig. 1.

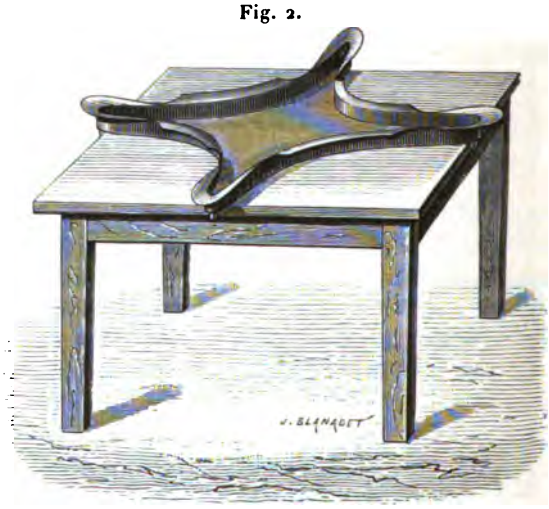


sure la cartouche, rabat l'extrémité du papier, colle le joint, et la place, à côté d'elle, dans une sorte de pétrin en bois qui sert à porter les cartouches au pesage. Les ouvrières sont payées à la tâche : lorsqu'elles font des cartouches ordinaires de $0^m,024$ et de 80^{gr} environ de dynamite n° 1, elles sont payées 4^{fr} les 100^{kg}; en hiver, en travaillant 7 heures par jour (de 8^h à 11^h et de 1^h à 5^h), elles gagnaient environ $3^{fr},50$, ce qui correspond à 12^{kg} par ouvrière et par heure, en moyenne. On était dans l'usage de venir prendre les pétrins des ouvrières pleins de cartouches 4 fois par jour, en été : une première fois à 8^h30^m ou 9^h, une seconde fois à 10^h30^m environ, une troisième fois vers 2^h30^m; et, enfin, à la sortie des ouvrières, on emportait tout ce qui restait dans l'atelier, afin de ne pas y laisser de dynamite la nuit. En hiver, c'est-à-dire pendant les jours qui ont précédé l'ex-

plosion, on ne faisait que 3 fois les pesées : une première fois le matin, vers 10h ou 10h30m, une seconde fois à 2h30m ou 3h, et une dernière fois à la fin de la journée.

Le 24 janvier, les pesées avaient été faites une première fois à 10h30m; on allait procéder à la seconde opération lorsque l'explosion se produisit. La dynamite encartouchée, qui se trouvait dans l'atelier à ce moment-là, était donc le produit d'au moins une heure et quart de travail normal, de 1h15m à 2h30m, l'explosion ayant eu lieu à 2h33m, d'après certains témoignages, et à 2h45m, suivant d'autres.

Fig. 2.



La dynamite que l'on encartouchait était du n° 1 gélatiné, espèce particulière de dynamite que l'on fabrique à Paulilles depuis quelques mois. Le n° 1 gélatiné est formé de 60 de nitroglycérine gélatinée (nitroglycérine additionnée de 3 pour 100 de coton nitré soluble), et de 40 d'un mélange binaire de salpêtre et de cellulose (28 de salpêtre pour 12 de cellulose); le salpêtre est pulvérisé dans des tonnes en fer analogues aux tonnes binaires des poudreries; la cellulose, sorte de bois désagrégé, joue le rôle de charbon, au point de vue chimique, et d'absorbant pour la nitroglycérine, au point de vue physique. Cet explosif est donc en somme une puissante dynamite à base active (NOTE A, p. *14).

Deux tables à encartoucher étaient placées dans le sens de la grande longueur du bâtiment A (voir le plan ci-joint); 8 femmes faisaient des cartouches ordinaires de 0m,024 de diamètre et de 80gr environ, à la table la plus éloignée de la porte; à la première table 8 autres ouvrières faisaient des cartouches plus petites, dites cartouches-amorces et ne conte-

nant que 40^{gr} à 50^{gr} environ. Comme on n'avait pas ce jour-là de papier coupé spécialement pour les cartouches-amorces, une dix-septième ouvrière était occupée à rogner avec des ciseaux, afin de les amener aux dimensions convenables, des feuilles de papier primitivement destinées aux cartouches de 80^{gr}. Nous avons vu précédemment qu'il se trouvait dans l'atelier, au moment de l'explosion, le produit d'au moins une heure et quart de travail : si nous évaluons à 12^{kg}, par ouvrière et par heure, la production moyenne en cartouches de 80^{gr}, et à 8^{kg} seulement la production correspondante en cartouches-amorces, nous arrivons à un minimum de 200^{kg} de dynamite encartouchée. Ajoutons que l'ouvrier pourvoyeur se trouvant parmi les victimes, il faut ajouter à ce nombre 20^{kg} ou 40^{kg} de dynamite en vrac, suivant que les deux tables ou une seule étaient vides de dynamite; car c'est par 20^{kg} environ que cet ouvrier apportait la dynamite, dans une caisse en bois spécialement destinée à cet usage. Dans l'atelier se trouvait aussi une petite table, placée dans le coin du bâtiment, à droite en entrant, immédiatement auprès de la porte, et qui servait au contre-maître surveillant de l'encartouchage; d'ordinaire ce dernier se tenait assis devant cette table, de manière à avoir la porte d'entrée devant lui, à droite.

L'atelier était construit d'après le système employé à Paulilles pour toutes les usines dangereuses : cloisons doubles, en planches, avec interposition de sciure de bois, la cloison extérieure peinte à la céruse, la toiture entièrement en bois, soutenue par de petites fermes espacées de 0^{m},60 environ, et simplement formées de planches assemblées en A et placées debout.

Dans chacun des bâtiments C et D (voir le plan ci-joint) se trouvait une machine à cartoucher le n° 1, à piston vertical animé d'un mouvement alternatif de va-et-vient, et à trémie périodiquement secouée par le jeu du levier moteur (NOTE B, p. *15). Les deux machines fonctionnaient, et dans chaque usine se trouvaient 2 ouvrières et 1 ouvrier. D'après le témoignage de ces ouvriers et ouvrières, dont aucun d'ailleurs n'a été blessé sérieusement par l'explosion, on n'aurait pas entendu de bruit insolite dans les quelques instants qui ont précédé la catastrophe, ni bruit de querelle, ni cri d'alarme. Aucun ouvrier ne se trouvait dans le bâtiment B où se fait l'incorporation de la nitroglycérine à la matière absorbante.

Ajoutons enfin que, le 24 janvier, la température était douce, supérieure à 12°, dans le milieu de la journée.

Effets de l'explosion. — Les effets de l'explosion peuvent se résumer en quelques mots : l'atelier d'encartouchage et ce qu'il renfermait, tout a été haché en menus morceaux et dispersé dans toutes les directions.

J'ai figuré en rouge, sur le plan ci-joint, les points où ont été trouvés les

cadavres plus ou moins mutilés des victimes. En a, appliqué contre le cavalier en terre, se trouvait le corps du contre-maître, le seul qui soit resté intact; il paraissait avoir été projeté simplement depuis la place où il se tenait assis d'ordinaire devant sa table. Tous les autres corps étaient horriblement mutilés ou même entièrement réduits en morceaux de petites dimensions; le samedi 28 on en trouvait encore en ma présence, dans les cavaliers qui entouraient l'atelier; ils avaient pénétré dans la terre, mêlés à des débris de planches et de poteaux : sur les dix-neuf victimes, on n'a pu réellement reconnaître que quatre ou cinq corps. L'ouvrier pourvoyeur, en particulier, n'a pas été retrouvé. L'explosion semble avoir été plus violente à la table du fond, celle où l'on faisait les cartouches de 80^{gr}, car ce sont surtout les ouvrières de cette table qui ont été le plus abîmées.

Sur l'emplacement de l'usine le sol était simplement comprimé; c'est à peine si l'on remarquait çà et là quelques dépressions de peu d'importance. Les cavaliers en terre étaient comme labourés; les aloës et les ficoïdes qui les couvraient avaient été arrachés ou déchirés et les débris dispersés tout alentour.

Les trois bâtiments les plus voisins (B, C et D du plan ci-joint) ont eu leurs toitures enfoncées; leurs cloisons latérales en planches ont été disjointes et entr'ouvertes dans le haut; mais les ouvriers et ouvrières qui étaient dans les deux ateliers d'encartouchage à la machine n'ont eu aucun mal, et la dynamite que renfermaient ces trois bâtiments n'a ni brûlé ni fait explosion.

Causes de l'explosion. — L'opération de l'encartouchage à la main a toujours été considérée comme ne présentant aucun danger; c'est ce qui explique, sans la justifier toutefois, la présence, dans une seule usine, de 19 personnes et de plus de 200^{kg} de dynamite; le décret présidentiel du 24 février 1876 fixait à 12 seulement le nombre des ouvriers ou ouvrières de cet atelier, et à 50^{kg} le poids maximum de dynamite qu'il devait renfermer.

L'explosion doit-elle être attribuée au fait lui-même de l'encartouchage? Nous ne le pensons pas; ce genre de travail, comme on a pu le voir par la description que nous en avons donnée, ne peut amener tout au plus que des chocs faibles entre du bois, du zinc et du laiton; dans les conditions où se faisait le travail le 24 janvier, c'est-à-dire avec la dynamite n° 1 gélatinée, relativement peu sensible aux chocs, et par une température supérieure à celle de la solidification de la nitroglycérine, il est très peu probable qu'un choc de cette nature ait pu produire une explosion. Dans une série d'expériences, qui ont été faites au laboratoire de Paulilles, on aurait vainement cherché à produire l'explosion de petites parcelles de dynamite n° 1 gélatinée, au moyen des divers objets qui étaient entre les mains des ou-

vrières dans l'atelier d'encartouchage : table recouverte en zinc, tubes en laiton et en zinc, mandrins et bourroirs en bois. L'explosion, facile à déterminer par le choc d'une masse de fer sur une autre masse de fer, comme un marteau et une enclume, n'aurait pu être produite par le choc des tubes en laiton et en zinc sur une enclume ; en sorte que l'on devrait écarter également, comme bien peu probable, l'hypothèse d'un choc entre la table en zinc et quelque autre objet en fer, tel que les ciseaux de l'ouvrière qui rognait du papier.

Doit-on supposer qu'il s'est produit une décomposition spontanée de la dynamite? Encore moins. En effet, en pareil cas, la décomposition brusque, explosive, est toujours précédée par une décomposition lente, caractérisée par un dégagement abondant de vapeurs rutilantes. Si ce phénomène s'était produit, quelques ouvrières auraient sans doute eu le temps de fuir, et des cris d'alarme auraient été poussés; au contraire, chaque victime semble avoir été surprise et comme foudroyée à l'endroit même où elle travaillait, les ouvrières et l'ouvrier pourvoyeur tout autour des tables chargées de dynamite, et le contre-maître à la table devant laquelle il était assis. D'ailleurs, un débris de cartouche plein de dynamite intacte a été retrouvé au milieu des décombres (NOTE C, p. *16); l'essai qui en a été fait au laboratoire aurait montré que la dynamite était neutre, ou du moins basique, comme le sont toutes les dynamites de Paulilles, par suite des procédés de lavage employés dans cet établissement.

Le directeur de la fabrique suppose que quelque corps étranger, tel qu'une parcelle de phosphore détachée de la tête d'une allumette, ou de fulminate d'une capsule pour fusil à piston, a été mêlé à la dynamite et comprimé dans un tube par le bourroir en bois; dans cette hypothèse, la simple compression eût pu, en effet, déterminer l'explosion.

Conclusion. — En résumé, les causes de la catastrophe du 24 janvier demeurent inconnues; tout au plus pouvons-nous classer par ordre de probabilité les différentes hypothèses que l'on peut imaginer. A ce point de vue, l'hypothèse la plus probable serait la présence d'une allumette dans la dynamite; viendrait ensuite le choc, résultant d'une imprudence, entre deux surfaces métalliques dont l'une serait mouillée par de la nitroglycérine; en dernier lieu seulement, la décomposition spontanée de la dynamite.

Quant aux enseignements que nous devons garder de ce triste événement, on peut les résumer ainsi : diviser le plus possible le travail de la fabrication, soit au point de vue du nombre des ouvriers, soit au point de vue de la quantité de substance explosible contenue dans chaque atelier; éviter l'emploi des métaux durs et faire usage le plus possible, lorsque le bois ne suffit pas, de plomb soit massif, soit à l'état de revêtement; exercer une discipline sévère à l'égard des ouvriers, relativement à l'in-

troduction des allumettes ou de tout autre corps dangereux à un titre quelconque.

Saint-Chamas, 18 février 1882.

L'ingénieur,
COUTAGNE.

NOTES.

NOTE A (p. *10). — L'emploi de la nitroglycérine gélatinée est un progrès important dans l'industrie des dynamites; en effet, les chances d'exsudation sont bien diminuées, la présence du coton nitré dissous donnant à la nitroglycérine une viscosité plus ou moins grande, et même une consistance analogue à celle de la gomme, lorsque la proportion du coton soluble atteint 9 à 10 pour 100 : on a alors la dynamite-gomme. Les difficultés d'emploi de la nitroglycérine, difficultés qui proviennent exclusivement de son état liquide à la température ordinaire, sont ainsi considérablement diminuées; le choix des substances devant former la base de la dynamite ne se trouve plus limité par cette condition gênante d'avoir à y faire entrer des corps très absorbants, et l'on peut choisir, pour remplir ce rôle, n'importe quel mélange pulvérulent, dont la constitution chimique peut être déterminée de manière à correspondre à celle de la nitroglycérine, en vue de la production de la plus grande chaleur ou de la plus grande quantité de gaz possible, suivant le genre d'effet que l'on veut obtenir.

Ajoutons, enfin, que la nitroglycérine est d'autant moins sensible aux chocs, qu'elle contient une plus grande quantité de coton soluble. Cette dernière propriété, si elle est une condition de sécurité dans l'emploi, peut aussi, il est vrai, être considérée comme gênante, en ce qu'elle nécessite des amorces très puissantes; une portion des charges de dynamite peut également se soustraire à l'explosion, comme il arrive presque toujours quand on fait détoner de la dynamite-gomme à l'air libre, et quelquefois seulement lorsqu'on emploie, dans les mêmes conditions, de la dynamite à base inerte à 75 pour 100 de nitroglycérine (Note B).

A un certain point de vue, toutefois, on peut avoir encore quelques doutes sur les avantages que présentent les dynamites à cellulose nitrée, c'est-à-dire la dynamite-gomme, les dynamites gélatinées, les mélanges divers de nitroglycérine avec de la pâte à papier ou du son nitré, etc. Toutes ces dynamites sont-elles stables? Il est admis, assez généralement, que le coton-poudre sec ne présente pas toutes les garanties désirables de parfaite stabilité, soit à cause de sa nature même ou de la présence de quelques produits accessoires engendrés par la réaction qui lui donne naissance, soit que l'on ne puisse pas industriellement obtenir de coton-poudre dans un état de pureté complète, par suite de son état physique, certains corps étrangers, susceptibles de s'acidifier à la longue, pouvant passer inaperçus pendant tout le cours de la fabrication et échapper à tous les moyens de purification. Si le peu de confiance que l'on a dans la stabilité indéfinie du coton-poudre sec est bien justifié, il paraîtrait naturel d'avoir la même défiance à l'égard de toutes les celluloses nitrées, qu'elles soient ou non mélangées à de la nitroglycérine. A cet égard, d'ailleurs, l'expérience nous instruira peu à peu, à mesure que se généralisera l'emploi des explosifs azotés et que progressera leur étude; les épreuves de conservation poursuivies pendant plusieurs années sont à ce point de vue très instructives.

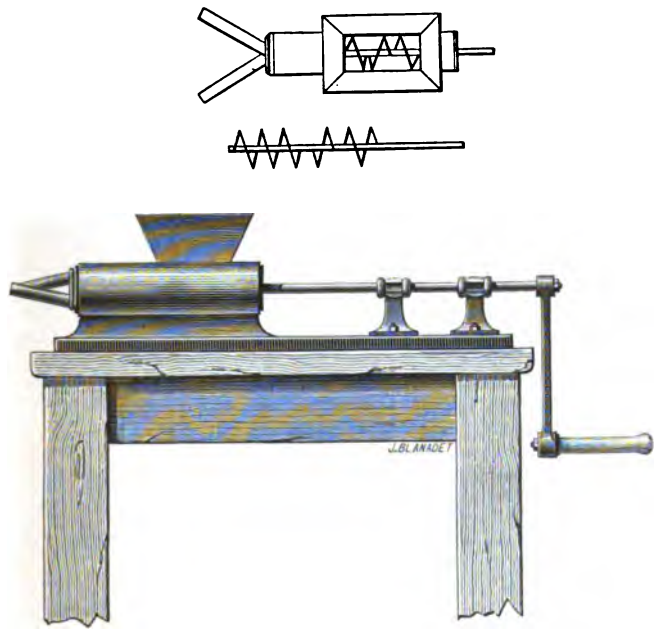
La gélatinisation de la nitroglycérine se fait à Paulilles dans l'appareil qui sert à la fabrication de la dynamite-gomme : une bassine en cuivre à double enveloppe, traversée par un courant d'eau à 30 ou 40°. Le coton nitré soluble est fabriqué en Norwège, dans une usine Nobel; il est de qualité très uniforme et toujours entièrement soluble; les autres collodions, qu'on a essayés à Paulilles avant ce produit et qui avaient été fabriqués en France ou en Allemagne, étaient, au contraire, d'un prix très élevé, de qualité très médiocre et très inégale. On sait, en

effet, que la fabrication du collodion, par immersion dans un bain d'acide, est une opération très délicate; le moindre changement dans la qualité du coton, la température et le degré d'acidité du bain et la durée d'immersion entraînent des variations dans le degré de nitrification du coton; une portion reste à l'état de coton ordinaire ou, au contraire, se transforme en coton trinitré insoluble.

La dynamite n° 1 gélatinée de Paulilles brûle très lentement à l'air libre, lorsqu'on enflamme une cartouche à enveloppe non métallique; la vitesse de combustion est beaucoup plus faible que celle du n° 1 de Vonges; mais la flamme est vive, claire, brillante, et la cartouche ne laisse qu'un faible résidu de carbonate de potasse fondu.

NOTE B (p. *11). — Indépendamment de cette machine, qui est d'un emploi déjà ancien à Paulilles et à Saint-Sauveur et qui est employée aussi à l'étranger, on fait usage à Paulilles, depuis

Fig. 3.



quelques mois seulement, d'une machine particulière pour l'encartouchage de la dynamite-gomme (*fig.* 3). Un arbre horizontal en bronze reçoit le mouvement d'une manivelle; il porte à une extrémité une hélice en bronze présentant une dizaine de tours. Cette hélice tourne dans un cylindre creux en bronze, de telle sorte que la dynamite-gomme, qui est introduite dans la partie antérieure du cylindre par une sorte de petite trémie placée au-dessus, est poussée avec force vers le fond du cylindre. Ce dernier, qui se visse sur le corps du cylindre, présente en son milieu une petite cavité destinée à porter l'extrémité de l'arbre, et, en deux points diamétralement opposés, deux ouvertures qui se continuent extérieurement par deux tubes en bronze, où la dynamite est forcée et sort sous forme de boudins. On fait donc par ce moyen deux cartouches à la fois. Afin que l'hélice ait plus de prise sur la dynamite, les premiers tours de spire, ceux qui correspondent à la trémie, ne sont pas complets et présentent des interruptions, régulièrement espacées, de $\frac{1}{3}$ tour de spire. Tout est disposé de telle sorte qu'il n'y ait dans cette machine que des frottements de bronze sur bronze. Toutefois, elle présente un assemblage de pièces en fer, fonte et bronze; c'est assez dire qu'elle est d'un maniement délicat et qu'elle demande de grandes précautions.

NOTE C (p. *13). — Ce fait, qui peut paraître invraisemblable au premier abord, n'a rien de surprenant pour ceux qui ont expérimenté souvent la dynamite. Il est relativement assez fréquent, surtout dans les explosions à l'air libre, de voir une cartouche détoner en partie seulement, l'autre portion restant intacte; et, si le fait n'a pas été signalé plus souvent, c'est, sans aucun doute, parce que la portion qui échappe à l'explosion se trouve d'ordinaire émiettée et projetée dans toutes les directions. De même aussi, lorsqu'on fait détoner par le choc au marteau une goutte de nitroglycérine liquide très largement étendue sur la surface d'une enclume, il arrive souvent que l'explosion ne se communique qu'aux environs immédiats du point frappé et que le reste de la goutte reste intact. Cette propriété de la dynamite est très importante; elle rend compte de plusieurs particularités singulières que l'on a rencontrées dans l'emploi de cet explosif. C'est ainsi que, lorsqu'on fait détoner la dynamite à l'air libre, pour briser des obstacles, comprimer des cylindres en plomb, faire détoner à distance d'autres cartouches de dynamite, on observe fréquemment que, d'une expérience à une autre, les effets produits varient du simple au double : à ce point de vue, la comparaison des forces de différentes dynamites au moyen des cylindres en plomb est un procédé défectueux, même lorsqu'on ne considère que les moyennes d'un grand nombre d'expériences; le procédé qui consiste à mesurer le volume de la cavité produite dans un bloc de plomb est bien préférable, aucune parcelle de dynamite ne pouvant alors échapper à l'explosion, et, de plus, on se trouve dans des conditions très analogues à celles de l'emploi des explosifs dans les mines. La nature de l'absorbant et l'état de dilution plus ou moins grand, pour ainsi dire, de la nitroglycérine dans cet absorbant (dynamites n° 1, 2 et 3 de Vonges) paraissent influer également d'une façon très notable sur les effets mécaniques produits, en contribuant à augmenter ou diminuer la proportion de nitroglycérine qui échappe à l'explosion. Le coton-poudre soluble présente à cet égard une influence très caractérisée : en même temps qu'il rend la nitroglycérine bien moins sensible au choc, il forme avec elle un composé très difficile à faire détoner entièrement, principalement à l'air libre. C'est également au même ordre de phénomènes qu'il y a lieu probablement de rattacher la supériorité relative, au point de vue de l'écrasement des cylindres de plomb, et à égalité de poids de nitroglycérine, de la dynamite n° 3 (Vonges) sur la dynamite n° 1, et de cette dernière sur la nitroglycérine pure. Ce dernier fait semble avoir été méconnu d'ailleurs par les divers expérimentateurs qui ont cru trouver dans l'écrasement des cylindres de plomb un procédé d'épreuve pour évaluer la force des différentes dynamites.

N° 16.

INFLAMMATION DE CHARBON SURVENUE LE 21 JANVIER 1881, A LA POUDRERIE DE SEVRAN-LIVRY.

(Lettre collective n° 23.)

LE MINISTRE DE LA GUERRE

A MM. L'INSPECTEUR GÉNÉRAL DES POUDRES ET SALPÊTRES;
LES DIRECTEURS DES ÉTABLISSEMENTS DU SERVICE DES POUDRES ET SALPÊTRES.

Paris, le 31 mai 1882.

Messieurs, un cas d'inflammation spontanée de charbon trituré s'est produit, le 21 janvier 1881, à l'usine à meules n° 2 de la poudrerie nationale de Sevran-Livry, dans les circonstances suivantes :

Cette usine, qui avait subi le matin une légère réparation, avait été nettoyée, les meules étant mises sur cuir, puis une charge d'environ 12^{kg} de charbon avait été placée sur la piste, en vue de l'opération inoffensive qui doit régulièrement précéder la reprise de la fabrication.

Le charbon employé était du charbon noir de guerre, dont la fabrication datait du 13 dudit mois.

Les cuirs avaient été enlevés, et les meules, amenées sur le charbon, au moyen de l'appareil de galetage, avaient reçu leur vitesse normale.

Au bout de quelques tours, l'ouvrier commençant l'arrosage, le charbon s'est enflammé et a brûlé assez vivement.

L'incendie a été limité aux matières contenues sur la piste, et un commencement de combustion de la toile placée au-dessus des meules a été immédiatement arrêté.

Cet accident n'est qu'une nouvelle manifestation de la propriété que le charbon conserve, longtemps après sa fabrication, de s'enflammer spontanément au moment de sa trituration.

Deux faits identiques ont été notamment signalés : le premier, le 15 juin 1847, à la poudrerie d'Esquerdes (circulaire du 25 du même mois), et le second, le 18 février 1863, à la poudrerie du Ripault (circulaire du 11 mars 1863).

Si les précautions prescrites par l'ancienne direction des poudres à l'occasion de ces faits n'eussent pas été perdues de vue, l'accident du 21 janvier 1881 eût été évité; aussi pensé-je devoir accentuer encore les recommandations antérieures, en interdisant désormais l'emploi, pour le nettoyage des meules, de tout charbon qui n'aurait pas été trituré et humecté plusieurs jours à l'avance. Il est tout simple d'ailleurs d'affecter à cette opération le même charbon qu'on garde en réserve pour en disposer au moment du besoin. Ce nettoyage au charbon peut, dans certain cas, être, en outre, précédé d'un nettoyage préalable à la sciure de bois.

Je rappelle, à cette occasion, la propriété analogue d'inflammation spontanée que possède le binaire soufre-charbon et les précautions à prendre contre les accidents qui peuvent en être la conséquence.

BILLOT.

N° 17.

EXPLOSION DE COTON-POUDRE PARAFFINÉ SURVENUE LE 24 AVRIL 1881, A LA POUDRERIE DU PONT-DE-BUIS.

(Lettre collective n° 24.)

LE MINISTRE DE LA GUERRE

A MM. L'INSPECTEUR GÉNÉRAL DES POUDRES ET SALPÊTRES;
LES DIRECTEURS DES ÉTABLISSEMENTS DU SERVICE DES POUDRES ET SALPÊTRES.

Paris, le 1er juin 1882.

Messieurs, une explosion est survenue, le 24 avril 1881, dans l'usine n° 1 de la poudrerie nationale du Pont-de-Buis, pendant des essais de trituration de coton-poudre paraffiné.

Cette explosion a tué sur le coup le conducteur de l'usine et blessé légèrement le sous-chef poudrier et un ouvrier; elle a, en outre, produit sur le mécanisme et le bâtiment des dégâts matériels insolites dans les explosions d'usines à meules.

Ce malheureux accident a sa cause dans la nature même de l'opération, dont le danger avait été prévu et signalé à l'avance. Les meules ordinaires ne sont pas, en effet, appropriées à ce travail. Aussi le directeur des poudreries du Finistère a-t-il été invité à étudier un projet d'installation d'un appareil spécial pour la trituration des explosifs azotés, et, en attendant que cette installation soit réalisée, l'incorporation de la paraffine au coton-poudre est-elle exclusivement opérée sous les meules suspendues de la poudrerie de Sevran-Livry, considérées comme présentant une plus grande sécurité relative.

Le rapport ci-joint, de M. l'inspecteur général Arnould, fournit des renseignements sur la cause, les circonstances et les effets de l'explosion du 24 avril 1881.

BILLOT.

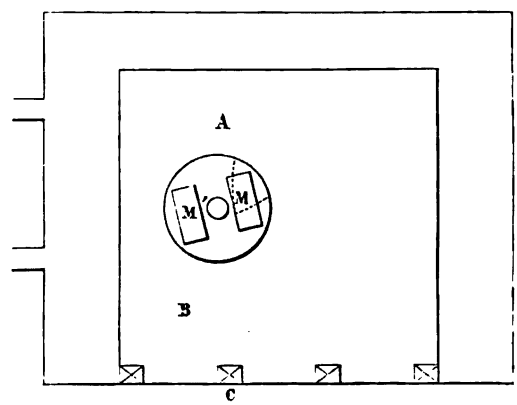
Rapport sur l'explosion survenue à l'usine à meules n° 1 de la poudrerie du Pont-de-Buis, pendant la préparation du coton-poudre paraffiné.

L'usine à meules n° 1, qui a fait explosion le 24 avril, à 8^h15^m du matin, préparait du coton-poudre paraffiné. Dès le matin, les meules avaient été nettoyées et lavées et avaient marché sur le charbon; une première charge de coton-poudre paraffiné à 20 pour 100 avait été faite de 6^h à 8^h du matin sans aucun incident; l'usine était conduite par le nommé LE MEST, auxiliaire, employé depuis 7 ans à la poudrerie, habitué à surveiller les meules et ayant déjà fait des préparations de coton-poudre paraffiné; cet ouvrier était aidé par l'auxiliaire QUINTIN, chargé du transport des matières qui étaient préparées au laboratoire, par le jeune GOAS, aide aux expériences; la marche de l'usine était surveillée par le sous-chef poudrier MESNARD, qui avait déjà été chargé d'un semblable service les 7 et 15 avril, et qui avait reçu les instructions spéciales du chef poudrier.

Vers 8^h, la première charge à 20 pour 100 avait été terminée; la deuxième charge, composée de 15^{kg} de coton-poudre à 3 pour 100 d'humidité, répartis en 2 tines, et $2^{kg},250$ de paraffine (15 pour 100) découpée en raclures et contenue dans des sébiles, fut apportée et déposée à 12^m environ du mur latéral de l'usine. Quand la première charge fut enlevée, sauf les culots, QUINTIN apporta $7^{kg},500$ de coton, qui fut étendu avec soin sur la piste par le sous-chef et les deux ouvriers, puis les $2^{kg},250$ de paraffine, qui fut répartie à la main dans la masse et mélangée au coton. On fit avancer les meules d'une petite fraction de tour pour enlever les culots, que QUINTIN emporta dans une tine pour les réunir à la charge; MESNARD et LE MEST complétèrent le répandage du nouveau chargement sur la partie de la piste d'où les culots avaient été retirés.

LE MEST se rendit à l'angle du mur latéral pour mettre en marche, à l'aide de la manivelle de la vanne; MESNARD resta à la porte contre le poteau de la devanture pour surveiller le réglage de la vitesse et donner au conducteur les indications nécessaires; l'eau fut donnée lentement pour obtenir la vitesse de 3 à 4 tours par minute. En même temps que QUINTIN rapportait la tine vide à sa place dans l'usine, LE MEST rentra derrière lui et lui dit (en breton) de rester pour l'aider aux opérations subséquentes (qui consistaient à apporter et à étendre sur la piste le reste du coton-poudre, $7^{kg},500$, et à le mélanger à la main et à la matière après le premier arrêt). Pendant que QUINTIN répondait que ce n'était pas son service et qu'il devait remporter la charge déposée à quelque distance sur la brouette, LE MEST prit la balayette dont il se servait pour la poudre et se disposa à faire le tour de la piste en brossant en avant d'une des meules, comme on le fait pour les charges de poudre; c'est alors que l'explosion se produisit.

LE MEST fut retrouvé mort, en A, sur le plancher de l'usine en avant du point où il se trouvait près de la meule M; QUINTIN, protégé sans doute par la meule M', fut renversé et brûlé en B auprès de la tine qu'il avait déposée: MESNARD, qui était resté en C, fut projeté sur le talus du merlon. Les dégâts causés au mécanisme des meules furent considérables : la piste en fonte de $0^m,07$ d'épaisseur fut brisée sous la meule M; un large morceau fut déplacé et tomba au pied de la pierre de support; un autre morceau moindre fut projeté vers le mur latéral; le rebord de la piste fut



complètement rasé sur tout le pourtour et ses débris projetés à des distances inégales du massif; l'engrenage horizontal fut brisé et les fragments répartis autour du massif; la meule M, n'étant plus portée par la piste, s'abaissa et faussa l'essieu; les grattoirs, repoussoirs, moises, etc., furent brisés et projetés; enfin, la pierre de taille de support fut cassée en plusieurs points: sous la meule M, elle fut mise en menus fragments; sous la meule M', elle fut brisée en morceaux plus gros; les meules ont dû s'arrêter instantanément par suite de la rupture de l'engrenage; le principal centre d'explosion est nettement accusé sous la meule M. Quant au bâtiment, la couverture, qui était en feuilles de zinc posées sur lattis, a été projetée à de grandes distances, et les débris, passant par-dessus les merlons, sont venus tomber jusque auprès des dépôts 12, etc.; les panneaux de la devanture ont disparu, mais la sablière et les poteaux ne sont pas renversés; les murs ont résisté et sont debout; toutefois, le mur de fond, qui est très élevé, a une légère lézarde vers la partie supérieure et les vitrages du cabinet de la turbine sont fort endommagés.

Quelle a été la cause de ce désastreux accident? Je ne pense pas qu'on doive la chercher ni dans un dérangement des mécanismes, ni dans la

rupture d'une pièce quelconque, ni dans l'état des organes accessoires des meules. Un dérangement ou une rupture auraient certainement été remarqués par le surveillant MESNARD et l'ouvrier QUINTIN, et ces deux agents déclarent n'avoir rien constaté de semblable. Parmi les organes accessoires, on a remarqué que la tranche inférieure du repoussoir extérieur qui suivait la meule M présentait de nombreuses soufflures, et M. le directeur s'est demandé si les rugosités de cette surface qui frotte sur la piste n'avaient pas pu produire un échauffement dangereux; mais cela me paraît inadmissible, puisque les meules venaient d'être mises en train et n'ont pas fait plus de 6 à 8 tours avant l'explosion. La présence de sable de moulage provenant de ces soufflures et se répandant sur la piste me semble également improbable, parce que les cavités du repoussoir, examinées après l'accident, ne contenaient que du charbon pulvérisé provenant du nettoyage qui avait précédé le travail sur coton-poudre. A quoi bon, d'ailleurs, recourir à ces hypothèses? La nature même de l'opération suffit pour expliquer l'explosion : en réalité, dans le mode de préparation qui était suivi, on était exposé à faire marcher les meules sur du coton-poudre pur et sec. J'ai dit que la charge initiale était de $7^{kg},500$ de coton-poudre à 3 pour 100 d'humidité et de $2^{kg},250$ de paraffine en raclures. Le coton-poudre était volumineux et recouvrait toute la piste, mais la paraffine découpée en morceaux et mélangée à la main dans la masse était loin d'occuper au début toute la surface de la piste; il se rencontrait donc en certains points du coton pur sous les meules, et l'on arrivait forcément à faire une opération que tous les ingénieurs s'accordent à considérer comme dangereuse, à triturer du coton-poudre sec sous des meules pesant 5000^{kg}. Les risques étaient donc, à mon avis, inhérents à la nature même de l'opération, et ils étaient d'autant plus grands que la proportion de paraffine à incorporer au coton-poudre était moindre.

Les prescriptions contenues dans le dernier paragraphe de la dépêche ministérielle du 14 août 1880 (1) avaient précisément pour but de mettre les hommes à l'abri de ce danger prévu; elles ont été notifiées au personnel par un ordre écrit, remis par le directeur le 6 avril dernier au chef poudrier et communiqué par ce dernier au sous-chef MESNARD et aux ouvriers employés aux expériences, qui le déclarent et le reconnaissent. Mais ces agents ne les ont pas comprises dans leur sens absolu, et ils n'ont pas pu croire que la défense d'entrer dans l'usine pendant la marche s'appliquait au moment de la mise en train. Il était en effet nécessaire, pour la fabri-

(1) « ... Pour ce qui concerne la trituration des matières sous les meules, il » devra être formellement interdit au conducteur de pénétrer dans l'usine pen- » dant la marche des appareils, et les arrosages ne devront être faits qu'après » l'arrêt préalable des mécanismes. »

cation nouvelle comme pour la fabrication de la poudre noire par les meules, de surveiller spécialement le début de l'opération, de vérifier les vitesses et le fonctionnement des appareils, de ramener le coton sous les meules et de veiller à l'incorporation de la paraffine; la présence des ouvriers à la mise en train paraissait donc indispensable au succès de l'opération et les hommes ne quittaient l'intérieur de l'usine qu'au moment où le chargement était complet et la marche régulière.

En résumé, la cause de l'explosion du 24 avril est inhérente à la nature même de l'opération exécutée; la fabrication de coton-poudre paraffiné à froid, par le procédé des meules, est une opération dangereuse par elle-même, surtout au début du travail, lorsque le coton-poudre et la paraffine ne sont pas encore intimement mélangés, et c'est précisément à ce moment que la présence des ouvriers dans l'usine est plus nécessaire. Le malheureux accident arrivé au Pont-de-Buis ne doit donc être imputé ni à la négligence, ni au défaut de surveillance, ni à l'inexécution des ordres ministériels : il est dû à la nature même du travail entrepris pour la recherche et la préparation du nouvel explosif.

Paris, 3 mai 1881.

L'inspecteur général,
CH. ARNOULD.

N° 18.

NOTE SUR LES POUDRES A TRITURATION TRÈS RÉDUITE.

(Lettre collective n° 25.)

LE MINISTRE DE LA GUERRE

A MM. L'INSPECTEUR GÉNÉRAL DES POUDRES ET SALPÊTRES;
LES DIRECTEURS DES ÉTABLISSEMENTS DU SERVICE DES POUDRES ET SALPÊTRES.

Paris, le 2 juin 1882.

Messieurs, je vous adresse, ci-joint, une note relative à des essais exécutés à la poudrerie nationale de Sevran-Livry, sur des poudres à trituration très réduite (1).

Les résultats obtenus à Sevran-Livry et consignés dans cette note sont fort intéressants et très remarquables : ils mettent en

(1) Voir 1, 278.

évidence ce fait capital que, soit par le procédé des tonnes et des presses seules, soit par ce procédé combiné avec une trituration très réduite sous les meules, on peut, à l'aide de modifications convenables des caractères physiques de densité et de grosseur des grains, produire des poudres possédant les mêmes qualités balistiques que les poudres obtenues par la trituration prolongée sous les meules. Les conséquences de ce fait, au point de vue de la fabrication et de la puissance productive des poudreries, sont considérables, et les conclusions de la note les font ressortir avec une grande précision.

Pour obtenir une confirmation aussi complète que possible des résultats annoncés, j'invite MM. les directeurs des poudreries pourvues d'un champ de tir à entreprendre immédiatement des essais de fabrication, par l'un et l'autre des procédés indiqués, de poudres possédant les mêmes qualités balistiques que la poudre SP_1 réglementaire.

BILLOT.

N° 19.

ORGANISATION DE COLLECTIONS TECHNIQUES DANS LES ÉTABLISSEMENTS.

(Lettre collective n° 27.)

LE MINISTRE DE LA GUERRE

A MM. L'INSPECTEUR GÉNÉRAL DES POUDRES ET SALPÊTRES;
LES DIRECTEURS DES ÉTABLISSEMENTS DU SERVICE DES POUDRES ET SALPÊTRES.

Paris, le 4 juin 1882.

Messieurs, il y a intérêt pour les établissements du service des poudres et salpêtres à posséder la collection des types des poudres françaises et étrangères et des divers modèles d'enveloppes et appareils employés pour ces poudres.

J'ai donc décidé l'affectation, dans toutes les poudreries, à ce musée technique, d'un local spécial, lequel devra, autant que possible, être isolé de tout autre bâtiment, de façon à présenter toutes les conditions de sécurité désirables.

Des propositions pour l'installation de ces collections me seront soumises avec un devis de la dépense.

Parmi les moyens à employer pour leur formation, il convient de ne pas négliger celui qu'offrent tout naturellement les réceptions de poudres de saisie.

MM. les directeurs des poudreries devront donc conserver, à l'avenir, des échantillons de toutes les poudres et enveloppes pouvant présenter quelque intérêt parmi les envois qui leur sont faits par les entrepôts des contributions indirectes.

Les collections seront, sur la demande qui en sera faite au directeur de la poudrerie de Sevran-Livry, complétées par des envois de cet établissement.

Des étiquettes indiqueront soigneusement la provenance des échantillons, leurs qualités diverses, etc.

Dans les raffineries, les collections ne comprendront aucune substance pouvant donner lieu à une explosion dangereuse.

Vous me ferez connaître, en m'accusant réception de la présente lettre collective, les mesures que vous comptez prendre pour donner suite aux prescriptions qu'elle renferme.

BILLOT.

N° 20.

MISE EN VENTE D'UNE NOUVELLE POUDRE DE CHASSE, DITE AU BOIS PYROXYLÉ.

(Lettre collective n° 31.)

LE MINISTRE DE LA GUERRE

A MM. L'INSPECTEUR GÉNÉRAL DES POUDRES ET SALPÊTRES;
LES DIRECTEURS DES ÉTABLISSEMENTS DU SERVICE DES POUDRES ET SALPÊTRES.

Paris, le 30 juin 1882.

Messieurs, une poudre nouvelle, dite *au bois pyroxylé*, a pris, depuis quelques années, une certaine extension dans divers pays, surtout en Angleterre, et son usage tend à s'introduire en France

pour le tir à plomb, notamment pour le tir aux pigeons. Cette poudre, pour laquelle le poids de la charge peut être réduit de moitié, donne moins de fumée et de recul que la poudre noire, tout en permettant de réaliser une justesse plus grande dans le tir.

Aussi ai-je décidé, sur la proposition de M. le ministre des finances et de concert avec lui, que la poudre au bois pyroxylé serait fabriquée dans les poudreries nationales et livrée à la consommation.

Mais, bien que les soins apportés à la fabrication des poudres pyroxylées permettent de compter sur leur stabilité, il m'a paru nécessaire, en raison de leur nature spéciale et des précautions que commande leur manipulation, de fixer ainsi qu'il suit, jusqu'à nouvel ordre, les dispositions provisoires relatives à la mise en vente de ces produits.

Emballage. — La poudre est renfermée dans des boîtes de chasse fine de 1^{kg} et de 2^{kg}, vernies intérieurement et contenant respectivement 450^{gr} et 900^{gr} de poudre pyroxylée. Les boîtes sont placées dans des caisses renfermant chacune :

5	boîtes de 2^{kg}	contenant $4^{kg}, 500$	de poudre pyroxylée;
10	» 1^{kg}	» $4^{kg}, 500$	»
Chaque caisse contient donc		$9^{kg}, 000$	»

Demandes. — Toutes les demandes seront adressées par MM. les entreposeurs des contributions indirectes à M. le directeur de la poudrerie nationale de Sevran-Livry (Seine-et-Oise). Chaque demande, pour un même entrepôt, sera limitée au maximum de 3 caisses (27^{kg}).

Livraisons et emmagasinage. — En attendant que les entrepôts de la régie se trouvent en mesure de pourvoir à l'emmagasinage des poudres pyroxylées, dans des conditions de sécurité suffisantes, la délivrance des quantités demandées sera faite, soit en gare d'arrivée par les soins de MM. les entreposeurs, soit dans les poudreries nationales par les soins du personnel du service des poudres et salpêtres. Dans l'un comme dans l'autre cas, la valeur des livraisons sera encaissée par MM. les entreposeurs de la régie, qui devront signer les récépissés comptables.

Les demandes adressées à M. le directeur de la poudrerie de

Sevran-Livry devront porter la mention du mode de livraison choisi par le consommateur. Si la livraison doit être effectuée en poudrerie, l'expédition sera faite directement à la poudrerie chargée d'approvisionner en poudres de vente la circonscription dans laquelle est compris le lieu de destination. Dans ce dernier cas, la délivrance des munitions devra être subordonnée à la représentation d'une quittance constatant que le prix de la vente a été versé par l'acheteur à l'entreposeur des contributions indirectes de la circonscription.

En ce qui concerne l'emmagasinage des approvisionnements dans les poudreries nationales, il importe, avant tout, de séparer absolument les poudres pyroxylées des poudres ordinaires, afin d'écarter de ces dernières toute chance d'explosion du fait de l'inflammation spontanée des autres produits. Les poudres pyroxylées pourront être, au besoin, renfermées dans de simples guérites suffisamment protégées contre l'humidité et la chaleur (1).

J'invite MM. les directeurs des poudreries à m'adresser d'urgence des propositions en vue de l'emmagasinage provisoire des poudres pyroxylées.

Il me sera accusé réception de la présente lettre collective:

BILLOT.

DIRECTION GÉNÉRALE DES CONTRIBUTIONS INDIRECTES.

CIRCULAIRE DU 4 AOUT 1882, N° 343.

Paris, le 4 août 1882.

La régie des contributions indirectes a été autorisée à mettre en vente une nouvelle poudre de chasse connue sous le nom de *poudre au bois pyroxylé*, et plus particulièrement utilisée dans les établissements de tir aux pigeons.

La poudrerie de Sevran-Livry, qui est chargée spécialement de la four-

---

(1) La compagnie des chemins de fer de l'Ouest est en possession d'un type de guérites d'aiguilleurs, en fer et briques, parfaitement approprié à l'emmagasinage des approvisionnements actuellement nécessaires, et cette compagnie veut bien céder, au prix de revient, un certain nombre de ces guérites au service des poudres et salpêtres.

niture de cet explosif, sera prochainement en mesure de livrer aux consommateurs la poudre pyroxylée que le monopole français se propose de fabriquer.

Dès à présent, elle est en état de satisfaire aux commandes au moyen de poudre au bois pyroxylé que le gouvernement a fait importer de la Grande-Bretagne, afin de répondre aux besoins immédiats.

Emballage. — La poudre au bois pyroxylé est logée dans des boîtes vernies intérieurement et contenant respectivement 450^{gr} et 900^{gr} de poudre. Les boîtes sont placées dans des caisses renfermant net 9^{kg} et constituées comme suit :

5 boîtes de 900^{gr}	4^{kg},500
10 boîtes de 450^{gr}	4^{kg},500
TOTAL ÉGAL	9^{kg},000

Les boîtes sont revêtues d'indications destinées à renseigner les consommateurs sur les propriétés et le mode d'emploi de la poudre de bois, ainsi que sur les précautions à prendre pour sa conservation.

Emmagasinage. — Bien que les soins apportés à la fabrication de la poudre pyroxylée permettent de compter sur la stabilité du produit et rendent, par suite, extrêmement faibles les chances d'une décomposition spontanée à laquelle les pyroxyles secs sont exposés sous certaines influences, il importe néanmoins que les poudres pyroxylées ne soient pas emmagasinées dans des locaux où seraient placées des poudres ordinaires. Il a été décidé, en conséquence, de concert avec le ministre de la guerre, que la poudre au bois pyroxylé ne sera pas introduite dans les poudrières de la régie, et que les livraisons seront faites, soit par les poudreries nationales provisoirement désignées comme lieux d'entrepôt du nouvel explosif, soit, dès l'arrivée des chargements, par les soins des entreposeurs de la régie.

Demandes. — Les demandes adressées par les entreposeurs à la poudrerie de Sevran-Livry porteront la mention du mode de livraison choisi par le consommateur (en gare d'arrivée ou en poudrerie). Chaque demande, pour un même entrepôt, ne devra pas dépasser trois caisses, soit 27^{kg}, ni être inférieure à une caisse, soit 9^{kg}.

Livraisons. — Lorsque les livraisons devront être faites en gare, les entreposeurs auront soin de prévenir les destinataires qu'ils seront tenus de prendre possession des poudres immédiatement après l'arrivée des chargements et moyennant le payement préalable du montant du prix de vente.

Lorsque les livraisons seront effectuées par les poudreries nationales, la délivrance des munitions sera subordonnée à la représentation de la facture du registre du n° 64 D, constatant que le prix de vente a été versé par l'acheteur à l'entreposeur des contributions indirectes.

Les prix de vente aux consommateurs et aux débitants de la poudre au bois pyroxylé de provenance anglaise ont été provisoirement fixés ainsi qu'il suit, par kilogramme, par boîte et par caisse :

POIDS des quantités vendues.	PRIX DE VENTE aux consommateurs.	PRIX DE VENTE aux débitants.	BÉNÉFICE revenant aux débitants.
	fr	fr	fr
1kgr.....	35,00	33,80	1,20
Boîte de 450gr.....	15,75	15,20	0,55
Boîte de 900gr.....	31,50	30,40	1,10
Caisse de 9kgr.....	315,00	304,20	10,80

Que les livraisons soient effectuées à l'arrivée par les entreposeurs de la régie ou qu'elles aient lieu par les soins des poudreries nationales, les opérations de réception et de vente figureront dans les comptes des entreposeurs; jusqu'à ce que les modèles soient revisés, elles seront inscrites dans des colonnes ou sur des lignes spéciales ouvertes à la main aux différents registres et bordereaux. La poudre au bois pyroxylé sera classée dans les poudres de chasse.

Le payement des frais de transport incombera dans tous les cas aux entreposeurs de la régie.

Le directeur général,
F. RENAUD.

Pour ampliation :

L'administrateur de la 3e division,
CROZES.

N° 21.

CRÉATION A LA POUDRERIE DE SEVRAN-LIVRY D'UNE COMMISSION DE RÉCEPTION DES POUDRES DE LA MARINE.

(Lettre collective n° 32.)

LE MINISTRE DE LA GUERRE

A MM. L'INSPECTEUR GÉNÉRAL DES POUDRES ET SALPÊTRES;
LES DIRECTEURS DES ÉTABLISSEMENTS DU SERVICE DES POUDRES ET SALPÊTRES.

Paris, le 1er juillet 1882.

Messieurs, la commission de Gâvre, en ce moment surchargée

de travaux, se trouvant dans l'impossibilité de faire les épreuves de la poudre A$\frac{30}{40}$, destinée au service de l'artillerie de terre, M. le ministre de la marine m'a proposé de faire exécuter ces expériences à la poudrerie nationale de Sevran-Livry, par les soins d'une commission de réception spéciale, chargée en même temps de toutes les épreuves de recette des poudres de la marine.

J'ai l'honneur de vous informer que j'ai donné mon assentiment à la création de cette commission, qui est composée de la manière suivante :

MM. SEBERT, lieutenant-colonel d'artillerie de marine, *président*.
CERF, capitaine d'artillerie de marine, *membre*.
JACOB DE MARRE, capitaine d'artillerie de marine, *membre*.
BRISSE, capitaine d'artillerie de marine, *membre*.
BIJU-DUVAL, ingénieur des poudres et salpêtres, *membre*.

En conséquence, tous les échantillons des poudres destinées au département de la marine seront à l'avenir dirigés sur Sevran-Livry, au lieu de l'être sur Gâvre, à l'exception toutefois de la poudre $\frac{30}{40}$, qui ne pourra être éprouvée à cette poudrerie qu'après l'installation d'un canon de 27^{cm}.

BILLOT.

INSTRUCTION DU 23 OCTOBRE 1882,

Sur le mode d'épreuve des poudres fabriquées pour le département de la marine.

Les épreuves de réception des poudres fabriquées par les poudreries pour le compte du département de la marine seront effectuées, à l'avenir, au champ de tir de Sevran-Livry, par les soins d'une commission spéciale composée d'officiers d'artillerie de la marine désignés par le ministre de la marine.

Un ingénieur des poudres désigné par le ministre de la guerre fera également partie de cette commission.

Les procès-verbaux des épreuves seront adressés au ministre de la marine en 3 expéditions, dont 2 seront transmises par lui au ministre de la guerre.

La recette des lots éprouvés sera, s'il y a lieu, prononcée par le ministre de la marine qui en donnera avis au ministre de la guerre.

Les lettres d'avis de réception des lots feront connaître, en même temps, la destination à leur donner et les indications à porter sur les barils, pour compléter les inscriptions réglementaires.

En cas d'urgence dans les envois, ces indications, ainsi que les avis de réception, pourront être notifiés officieusement au directeur de la poudrerie par les soins du bureau de l'artillerie au ministère de la marine, sauf confirmation officielle ultérieure.

Les dispositions suivantes seront observées pour la préparation des lots présentés en recette, ainsi que pour l'exécution des épreuves.

Les lots comprendront au maximum 12 000^{kg}.

Ils auront pour chaque espèce de poudre des numéros qui suivront, pour chaque année de fabrication et pour chaque poudrerie, la série naturelle des nombres.

Les lots rebutés conserveront leurs numéros, et ces numéros ne seront pas remplacés.

Les poudres seront emballées conformément aux prescriptions spéciales indiquées pour chacune d'elles.

Les barils recevront, sur l'un de leurs fonds, une inscription conforme au modèle adopté par le département de la marine et comprenant les indications suivantes :

Sur le pourtour.....	Nom de la poudrerie, Année de la fabrication ;
Dans l'intérieur du cercle	Désignation de la poudre, Dimension des grains, Numéro du lot, Vitesse initiale, Densité absolue, Contenance du baril en kilogrammes.

La valeur de la vitesse initiale sera laissée provisoirement en blanc, pour être inscrite, après l'épreuve de recette, sur l'indication fournie par le service de l'artillerie au ministère de la marine.

L'avis de l'achèvement d'un lot sera transmis, par le directeur de la poudrerie, au général chef du service technique de l'artillerie, qui en avisera la commission de recette.

Pour les commandes exécutées par une autre poudrerie que la poudrerie de Sevran, et sauf les cas d'urgence, le directeur attendra les instructions du service technique, avant d'opérer le choix des échantillons destinés aux épreuves et leur envoi à Sevran.

Il donnera avis, au général chef du service technique de l'artillerie, du départ de ces échantillons, et transmettra en même temps le tableau des

renseignements qu'il doit fournir à la commission de recette, conformément aux indications données plus loin.

Le directeur de la poudrerie de Sevran-Livry sera chargé de recevoir et d'emmagasiner les échantillons envoyés à la commission de recette, pour être éprouvés; il devra mettre à la disposition de la commission les moyens nécessaires pour l'apprêté des gargousses, ainsi que pour l'examen des caractères physiques ou chimiques qu'elle peut avoir à effectuer à titre de contrôle; il sera chargé également de la conservation des lots types des différentes poudres, destinés aux épreuves de comparaison.

Les conditions d'emmagasinage et de conservation de ces lots seront réglés de concert entre lui et le président de la commission.

Il donnera avis au président de la commission de recette de l'arrivée des échantillons destinés aux épreuves.

La commission de recette se réunira sur la convocation de son président.

Elle examinera les poudres présentées en recette et en vérifiera l'état de conservation et d'emballage; elle fera prélever les quantités nécessaires aux épreuves.

Le service des poudres devra fournir, pour chaque lot, un tableau de renseignements comprenant les indications suivantes :

Date de la commande,

Désignation de la poudre et grosseur des grains,

Numéro et importance du lot,

Densité au mercure,

Nombre de grains au kilogramme,

Proportion d'eau pour 100 dans les grains broyés et pulvérisés.

S'il s'agit de grains moulés sur toutes leurs faces, on indiquera les dimensions moyennes des grains mesurés sur 10 grains pris au hasard; s'il s'agit de grains à lignes de rupture préparées par moulage, on indiquera également les dimensions suivantes, mesurées sur 10 grains :

Épaisseur de la galette.... { moyenne, maximum, minimum.

Dimensions latérales ..... { longueur, largeur.

S'il s'agit de grains concassés, de formes irrégulières, on fournira, en outre, les renseignements suivants :

Poids des 10 plus gros grains... } sur une charge.
Poids des 10 plus petits..... }

Pour les poudres à fins grains, on pourra vérifier, au moyen de tamis

convenables, si la grosseur des grains est comprise entre les limites fixées.

Les tirs d'épreuve auront lieu, pour chaque espèce de poudre, dans les conditions fixées dans les instructions particulières communiquées au ministre de la guerre par le ministre de la marine.

Les poudres à éprouver seront tirées en même temps qu'un lot de poudre semblable pris pour type, qui sera réservé exclusivement pour cet usage.

Les tirs auront lieu dans des canons aux dimensions réglementaires et de bon service.

Les poids des charges seront vérifiés avec le plus grand soin, et l'on notera exactement le poids des projectiles; ces derniers ne devront pas dépasser les tolérances admises, pour chaque calibre, pour le projectile chargé.

On vérifiera également avec soin les dimensions de la ceinture et la position du projectile dans la chambre.

Les vitesses initiales des projectiles seront mesurées au moyen de 2 chronographes Le Boulengé, et les pressions sur le fond de l'âme au moyen de un ou deux appareils crushers, suivant le calibre.

Les moyennes seront prises sur 3 coups au moins pour chaque poudre.

Ce nombre sera augmenté, si les résultats sont irréguliers, de façon à faire disparaître, s'il y a lieu, l'effet d'un coup anormal.

On calculera l'écart moyen des vitesses.

Les résultats moyens seront corrigés de la variation de densité de chargement, de la variation de poids du projectile et de la variation journalière indiquée par le lot type.

Ces corrections s'effectueront conformément aux indications données par les instructions spéciales.

Paris, le 12 octobre 1881.

Approuvé :

Le ministre de la guerre,

BILLOT.

Paris, le 23 octobre 1882.

Approuvé :

Le ministre de la marine,

JAURÉGUIBERRY.

N° 22.

EXPLOSION SURVENUE LE 29 OCTOBRE 1881, DANS L'USINE A MEULES N° 101 DE LA POUDRERIE DU RIPAULT.

(Lettre collective n° 35.)

LE MINISTRE DE LA GUERRE

A MM. L'INSPECTEUR GÉNÉRAL DES POUDRES ET SALPÊTRES;
LES DIRECTEURS DES ÉTABLISSEMENTS DU SERVICE DES POUDRES ET SALPÊTRES.

Paris, le 16 juillet 1882.

Messieurs, l'usine à meules n° 101 de la poudrerie nationale du Ripault a fait explosion le 29 octobre dernier, pendant la trituration d'une composition de poudre SP_1.

Le conducteur de l'usine a été légèrement blessé et les dégâts matériels ont été relativement considérables.

Je vous envoie ci-joints les documents officiels relatifs à cette explosion, ainsi que deux vues photographiques de l'usine et des mécanismes après l'accident.

Il résulte de ces documents que l'explosion a été déterminée, au moment de la mise en train à la vitesse ordinaire de 9 à 10^t, par un déplacement de matières qui aurait été favorisé par le poli du fond de la cuvette.

Le déplacement de matières et leur accumulation en avant d'un des repoussoirs sont nettement accusés par les effets produits sur certaines parties des mécanismes.

Quant à l'importance des dégâts, elle est la conséquence de la substitution, par la précédente administration, d'un mode de construction massive et résistante au type depuis longtemps réglementaire pour les couvertures et devantures d'usines.

En portant à la connaissance du service des poudres et salpêtres l'accident survenu le 29 octobre dernier à la poudrerie nationale du Ripault, j'appelle l'attention des ingénieurs sur les modifications indiquées par M. l'inspecteur général dans son rapport ci-joint, et notamment sur l'opportunité d'installer sans retard dans

les usines des appareils de suspension destinés à empêcher tout contact des meules avec la piste.

Il me sera accusé réception de la présente lettre collective.

BILLOT.

Rapport sur l'explosion survenue le 29 octobre 1881, dans l'usine n° 101 de la poudrerie du Ripault.

L'usine n° 101 de la poudrerie du Ripault, qui a fait explosion le 29 octobre 1881, fait partie du 1er groupe des usines de la rive gauche, et reçoit son mouvement par câble métallique de la machine à vapeur centrale de cette rive.

Elle avait été chargée à $3^h 30^m$ de 25^{kg} de matière formée de 60 pour 100 de compositions neuves et de 40 pour 100 de poudre SP_1, provenant des lots renvoyés en poudrerie pour être remaniés.

De 5^h à $5^h 30^m$, elle avait été arrêtée pendant le graissage des machines motrices (1); elle a fait explosion à $5^h 30^m$ au moment même de la mise en train.

Par l'examen des lieux et les dépositions reçues dans l'enquête, il a été établi :

1° Que les mécanismes avaient été bien graissés et qu'ils fonctionnaient régulièrement; il est d'ailleurs impossible d'admettre qu'aucun échauffement de parties frottantes ait pu se produire pendant le temps extrêmement court qui s'est écoulé entre la mise en train et l'explosion;

2° Qu'aucun ustensile n'avait été abandonné ou oublié sur la piste; tous les objets en service dans l'usine ont été représentés et ne portent aucune trace de choc ou d'écrasement;

3° Qu'il n'y a eu ni rupture, ni chute sur la piste d'aucun boulon, écrou ou partie de pièce métallique; tous ces boulons, etc., ont été retrouvés en place et attachés conformément aux instructions.

Il a été évident d'un autre côté :

1° Qu'il s'était formé une accumulation anormale de matières entre l'une des meules et le repoussoir extérieur qui la suit; le grattoir a été brisé aux points d'attache de la fourche et de la lame; les moises qui portent le repoussoir extérieur ont été, l'une cassée, et l'autre faussée et relevée en hau-

---

(1) Il est d'usage à la poudrerie du Ripault d'arrêter deux fois par jour, le matin et le soir, les machines motrices, et par conséquent toutes les usines qu'elles commandent, pendant une demi-heure, pour visiter et graisser les divers organes.

teur; ce repoussoir a été soulevé jusqu'au niveau du rebord de la piste; la partie du mur de l'usine et des faces des charpentes au droit desquelles se trouvait le repoussoir au moment de l'explosion porte des traces nombreuses de projection de matières enflammées;

2° Que, dans la partie de la piste diamétralement opposée, c'est-à-dire en avant de la meule dont on vient de parler, il se trouvait encore une certaine quantité de matière; quelques projections sur le mur latéral et sur les faces des charpentes l'indiquent nettement;

3° Que sous l'autre meule il ne se trouvait que très peu ou point de matière; sa face verticale extérieure a été à peine atteinte par les gaz enflammés.

Enfin, il est constant que les déplacements des matières sur la piste en marche normale étaient excessifs et l'entraînement par le repoussoir extérieur assez fréquent; la piste avait été piquée quelques semaines avant l'accident pour diminuer les déplacements, et le chef poudrier avait constaté, le jour même, que l'inconvénient persistait malgré cette précaution.

On est dès lors conduit à admettre que la matière déjà fortement triturée et encore un peu humide qui est restée comprimée sous les meules pendant la durée de l'arrêt des machines ($0^h 30^m$) s'est prise en galette ou culot sur toute la largeur de la piste, que, par suite du manque d'adhérence de la galette sur la piste, trop lisse, le repoussoir extérieur a ramassé et entraîné toute la matière placée entre lui et la meule qui le précède, et que la meule suivante, mise en train avec la vitesse ordinaire de 9^t à 10^t, est tombée brusquement, a frotté sur la piste dénudée, et a ainsi déterminé l'explosion.

L'accident est donc dû au mode même de fonctionnement de l'usine :

Les pistes, trop lisses, sur lesquelles les déplacements de matières sont considérables, sont dangereuses, et le procédé de piquage qui avait été employé à l'usine 101 du Ripault ne suffit pas pour faire disparaître la cause du danger.

L'inconvénient de cet état des pistes est plus grand dans les usines commandées par machine à vapeur que dans les usines hydrauliques.

Dans celles-ci, la mise en train peut se faire plus lentement que dans celles-là, en sorte que la surveillance de la matière est plus facile et les chocs moins énergiques.

Les accidents au départ doivent donc être plus fréquents dans les usines mues par la vapeur que dans les autres.

Le moyen le plus efficace de prévenir les accidents de cette nature, c'est de suspendre les meules de telle sorte qu'elles ne tombent jamais sur la piste.

Une étude sur les appareils de suspension des meules a été faite par la commission de fabrication dont l'avis a été porté à la connaissance des établissements; il importe d'installer au plus tôt ces appareils de suspension dans les usines à meules.

L'explosion dont les causes viennent d'être indiquées n'a donné lieu à aucun accident de personnes, mais les effets qu'elle a produits sur les bâtiments ont été considérables et mettent en évidence les défectuosités du mode de construction des usines neuves du Ripault.

La toiture, qui était en ardoises posées sur voliges jointives, a été enlevée; les voliges ont été lancées jusqu'à 60^{m}, et les ardoises jusqu'à 100^{m} en avant de l'usine. La charpente, qui se composait d'un faîtage, de deux pannes et d'une sablière avec chevrons fortement cloués sur ces pièces, a été disloquée, et les bois sont tombés, les uns en avant, les autres à l'intérieur de l'usine. La devanture, qui était formée de panneaux vitrés posés avec feuillures intérieures contre quatre poteaux verticaux, a été mise en pièces et les débris ont été projetés jusqu'à 20^{m} en avant de l'usine. La porte du mur de fond a été violemment arrachée et lancée contre la palissade qui forme masque sous la marquise; cette palissade est brisée et les colonnettes en fonte qui la terminent sont cassées. Les portes, les croisées, la couverture du cabinet qui sépare 101 et 102, ainsi que la devanture du 102, sont brisées. Enfin des ardoises et des débris de voliges de la toiture sont tombés derrière le mur de fond, sur le chemin de service.

On en conclut que la couverture et la devanture des usines sont trop lourdes et trop résistantes; que la couverture du cabinet est, au contraire, trop faible; que la porte ouverte dans le mur de fond de l'usine est dangereuse; que les portes d'entrée du cabinet sont mal placées et peuvent, dans certains cas, exposer les ouvriers aux atteintes d'une explosion.

En conséquence, il y a lieu d'apporter, sans retard, au mode de construction des usines les modifications suivantes :

Remplacer la couverture en ardoises par une couverture en serge en surélevant le mur de fond de 1^{m}; alléger la devanture en supprimant deux poteaux et la formant de panneaux légers s'ouvrant vers le dehors; supprimer la porte du mur de fond de l'usine; ouvrir, au contraire, pour le cabinet, une porte dans le mur de fond; couvrir ce cabinet par des voûtelettes en briques sur fers à T, et garnir de grillages métalliques les vitrages de ce cabinet.

En résumé, la cause de l'explosion est dans la nature même et le mode de fonctionnement des mécanismes, qui étaient d'ailleurs en excellent état d'entretien, et elle ne peut être à aucun degré attribuée au personnel; l'importance des dégâts et la gravité relative des effets produits sont la conséquence d'un mode de construction défectueux adopté par l'admini-

stration précédente; l'organisation des secours et la conduite du personnel ont été très satisfaisantes.

Paris, 19 novembre 1881.

L'inspecteur général,
CH. ARNOULD.

N° 23.

EXPLOSION SURVENUE LE 29 NOVEMBRE 1881, DANS L'USINE A MEULES N° 5 DE LA POUDRERIE DE VONGES.

(Lettre collective n° 36.)

LE MINISTRE DE LA GUERRE

A MM. L'INSPECTEUR GÉNÉRAL DES POUDRES ET SALPÊTRES;
LES DIRECTEURS DES ÉTABLISSEMENTS DU SERVICE DES POUDRES ET SALPÊTRES.

Paris, le 16 juillet 1882.

Messieurs, l'usine à meules n° 5 de la poudrerie nationale de Vonges a fait explosion le 29 novembre dernier, pendant la trituration d'une composition de poudre F_1.

Je vous envoie ci-joints les documents officiels relatifs à cette explosion, ainsi que deux vues photographiques de l'usine et des mécanismes après l'accident.

Il résulte de ces documents que l'explosion s'est produite au moment où les meules, après avoir, par suite du manque d'eau, subi un arrêt prolongé sur la matière, étaient remises en marche et brusquement entraînées au départ.

Elle a ainsi naturellement dû être attribuée à la chute ou au frottement d'une des meules sur une portion dénudée de la piste, hypothèse d'autant plus probable que le brusque départ, après un arrêt prolongé, était plus favorable au déplacement de la matière.

Quelque connue que soit la cause du danger résultant de ce concours de circonstances, il convient de poursuivre la recherche et l'emploi des moyens qui peuvent être susceptibles d'en écarter l'éventualité.

J'invite, dans ce but, MM. les directeurs des poudreries à prescrire, pour les usines munies d'un mécanisme de galetage, l'emploi de ce mécanisme pour la remise en marche, à la suite d'un arrêt prolongé sur la matière.

Je rappelle, en outre, mes précédentes demandes de projets pour la suspension des meules, et je le fais avec d'autant plus d'insistance qu'il ne s'est, jusqu'à ce jour, produit aucun accident dans les mécanismes, déjà nombreux, qui ont subi cette transformation.

Il me sera accusé réception de la présente lettre collective.

BILLOT.

Rapport sur l'explosion survenue le 29 novembre 1881, dans l'usine à meules n° 5 de la poudrerie de Vonges.

L'usine à meules n° 5, qui a fait explosion le 29 novembre 1881, à $6^h\ 50^m$ du matin, était chargée de 20^{kg} de poudre F_1.

La composition mise sous les meules avait reçu $2^h,5$ de trituration avant minuit.

L'usine avait été arrêtée et fermée à minuit par suite du manque d'eau; elle devait être remise en train au jour, et la charge restée en place avait encore $1^h,05$ de trituration à recevoir, ainsi que l'indiquait le tableau placé dans le cabinet de la turbine.

L'usine contiguë n° 6 était dans des conditions analogues de marche.

Le poudrier LEBAULT, conducteur ordinaire de l'usine n° 5, avait, en arrivant au travail, pris les clefs de l'usine dans le bureau du chef poudrier; après avoir vérifié l'état de la matière et des mécanismes, il était passé dans le cabinet de la turbine où se trouvait aussi le poudrier BERNARTOT, conducteur de l'usine n° 6; et, donnant l'eau à la turbine, il mettait en train, lorsque l'explosion se produisit.

En fermant rapidement la turbine pour arrêter l'usine, il sentit un choc dans le mécanisme et la turbine s'arrêta.

Il acheva de fermer et s'occupa de noyer l'usine; les ouvriers et les pompes arrivèrent promptement.

Les dégâts causés au bâtiment et aux mécanismes sont considérables.

La devanture et la couverture sont détruites, le cabinet de la turbine et le compartiment n° 6 ont souffert; le rebord du bassin est brisé sur une grande étendue en deux endroits diamétralement opposés.

Le fond de la piste est fissuré; un grattoir est brisé tout près du tourillon

intérieur; les moises sont faussées; les bassins à l'huile et l'appareil d'arrosage ont été emportés; le repoussoir extérieur est déjeté et relevé au-dessus de la piste, et c'est le choc de ce repoussoir contre la tranche de la partie du rebord restée en place qui a occasionné l'arrêt brusque des meules aussitôt après l'explosion.

L'état des diverses pièces indique que les meules étaient à 90° de la position représentée par la photographie lorsque l'explosion a eu lieu, que cette explosion s'est produite dès le départ et que les meules n'ont fait en tout qu'un quart de tour.

Ces meules sont anciennes : elles proviennent de la poudrerie de Saint-Chamas et ont été montées à Vonges en 1865-1866.

La surface cylindrique des meules roulantes est dans un état satisfaisant; sans être lisse, elle ne présente pas de piqûres profondes, et il ne semble pas que pendant la marche la matière dût y adhérer fortement et fatiguer les grattoirs; l'usure de ceux-ci n'est, d'ailleurs, pas considérable et leurs lames sont nettes et droites, sauf vers l'extrémité intérieure qui est légèrement creusée par le passage du cordon qui se forme toujours sur le bord des meules.

Le bassin est plus défectueux; la piste est creusée à une profondeur de 3^{mm} à 4^{mm}; sa surface est assez fortement piquée, et sur chaque bord la fonte est gravée et couverte de rugosités; la matière ne devait pas se déplacer beaucoup sur la piste pendant la marche, et l'entraînement de la galette par les repoussoirs, qui a lieu sur les pistes trop lisses, ne devait pas se produire dans l'usine n° 5.

La mise en train par la turbine, qui se faisait aisément quand l'eau était bonne, c'est-à-dire quand le niveau du bief d'amont était à sa hauteur normale, présentait plus de difficultés en eaux basses, et le départ a été quelquefois très rapide; dès que les meules étaient parties, l'ouvrier diminuait l'eau et réglait la vitesse.

Ce fait se rencontre dans toutes les usines hydrauliques dont les moteurs n'ont pas une force bien supérieure à celle que consomme le mécanisme.

Les renseignements recueillis dans l'enquête et l'examen des appareils ne permettent pas de déterminer d'une façon précise la cause de l'explosion.

Toutefois, il me paraît établi :

1° Que la matière était bien étendue sur toute la piste et qu'il s'en trouvait même sous les meules, puisque l'une de ces meules a été soulevée et que le rebord du bassin a été brisé au droit de la position des meules;

2° Qu'il n'y a eu échauffement d'aucune partie, puisque l'accident s'est produit au moment même de la mise en train;

3° Qu'il ne se trouvait pas de corps étranger sur la matière, puisqu'elle

avait été visitée par le conducteur avant la mise en train, que tous les ustensiles et objets affectés au service de l'usine ont été retrouvés, et que ni la surface des meules ni la piste ne portent de traces de la rencontre d'un corps dur.

Je ne pense pas, d'ailleurs, que le grattoir ait pu déterminer l'explosion par suite d'un effort exercé pour détacher la matière relevée par la meule.

S'il s'était produit une action de cette nature, si la lame du grattoir avait heurté soit une matière trop dure, soit la surface de la meule, l'arête de cette lame se serait rebroussée de bas en haut dans le sens du mouvement, tandis qu'elle présente seulement une légère bavure de haut en bas, provenant de la rencontre de la lame cassée avec la meule après l'explosion.

Je suis plutôt porté à attribuer l'accident à la chute d'une des meules sur la piste au départ.

Pendant le long arrêt de l'usine, de minuit moins 5^m à $6^h\,50^m$, la matière sur laquelle portaient les meules s'est peu à peu comprimée et durcie, et les meules se sont trouvées en quelque sorte calées sur un culot compact en avant duquel était étendue la matière ordinaire, moins dure et moins adhérente; le départ a été difficile à déterminer et a exigé une charge d'eau assez forte sur la turbine.

Lorsque ce départ s'est produit, les meules, brusquement entraînées, ont pu glisser au lieu de rouler sur la charge, et, chassant devant elles la matière molle, tomber sur la piste au moment où elles ont dépassé la partie dure formant culot.

L'accident serait donc dû à la chute des meules sur la piste mise à nu.

Quoi qu'il en soit, l'explosion du 29 novembre à Vonges, comme celle du 29 octobre au Ripault, prouve que la mise en train des meules, après un arrêt prolongé sur la matière, est une opération qui présente du danger.

Aussi conviendra-t-il, lorsqu'on sera obligé de subir des arrêts de cette nature, de déplacer les meules à l'aide du mouvement de galetage avant de remettre en marche par le moteur.

Dans toutes les usines, d'ailleurs, qu'elles soient ou non pourvues d'un mécanisme de galetage, l'emploi des appareils de suspension des meules me paraît indispensable pour empêcher les accidents que peut causer la chute des meules sur la piste dénudée.

L'installation d'un de ces appareils devra donc être prévue dans le projet de réparation de l'usine n° 5 de la poudrerie de Vonges.

Il n'y a, d'ailleurs, aucune modification à faire au mode de construction des usines, sauf pour les devantures, qu'il faudra rendre plus légères et plus indépendantes de la sablière et des charpentes.

En résumé, il résulte de l'exposé qui précède que l'accident ne doit être

imputé ni à la négligence, ni à l'imprudence, ni à un défaut de soins ou de surveillance.

L'arrêt prolongé de l'usine a été nécessité par le manque d'eau.

Les mécanismes étaient en bon état et bien entretenus.

L'usure de la piste, qui pouvait présenter quelque inconvénient pour le travail de la matière et la qualité du produit, devait empêcher et non faciliter les déplacements, et était par conséquent favorable à la sécurité.

Le conducteur de l'usine était un ouvrier soigneux et attentif, qui avait exactement visité la matière et les mécanismes avant la mise en train.

Les chefs ouvriers et ouvriers étaient à leurs postes, exerçaient leur surveillance et faisaient régulièrement leur service.

Aucune responsabilité n'est donc engagée et l'explosion ne peut être attribuée qu'à une circonstance fortuite et imprévue.

Tout le personnel a, d'ailleurs, fait son devoir après l'accident : les secours ont été organisés et les pompes amenées immédiatement, et, quand on eut reconnu que tout danger avait disparu, chacun est retourné à son poste et le travail a repris aussitôt dans tout l'établissement.

Paris, 10 décembre 1881.

L'inspecteur général,

CH. ARNOULD.

N° 21.

EXPLOSION SURVENUE LE 13 DÉCEMBRE 1881, DANS L'USINE N° 91 DE LA POUDRERIE D'ANGOULÊME.

(Lettre collective n° 37.)

LE MINISTRE DE LA GUERRE

A MM. L'INSPECTEUR GÉNÉRAL DES POUDRES ET SALPÊTRES;
LES DIRECTEURS DES ÉTABLISSEMENTS DU SERVICE DES POUDRES ET SALPÊTRES.

Paris, le 17 juillet 1882.

Messieurs, l'usine à meules n° 91 de la poudrerie nationale d'Angoulême a fait explosion le 13 du mois de décembre dernier.

Je vous envoie ci-joints les documents officiels relatifs à cette explosion, ainsi qu'une vue photographique de l'usine et des mécanismes après l'accident.

Il résulte de ces documents que l'explosion s'est produite, sans cause certaine, au moment de la mise en train sur un mélange de matière à divers états.

C'est donc encore à une dénudation de la piste que cette explosion a dû être attribuée, et je suis ainsi amené à rappeler les prescriptions contenues dans ma lettre collective n° 36 sur l'explosion survenue le 29 novembre dans l'usine à meules n° 5 de la poudrerie nationale de Vonges.

Je dois, à l'occasion de cette explosion d'une usine à meules, qui n'est séparée de sa voisine que par un simple mur de refend, signaler le parfait fonctionnement des appareils d'inondation instantanée. Ces appareils ont, en effet, non seulement empêché l'explosion de l'usine contiguë n° 90, mais encore dispensé de l'emploi des pompes à incendie.

Il me sera accusé réception de la présente lettre collective.

BILLOT.

Rapport sur l'explosion survenue le 13 décembre 1881, dans l'usine à meules n° 91 de la poudrerie d'Angoulême.

L'usine à meules n° 91, qui a fait explosion le 13 décembre à 6^{h} du matin, fait partie du groupe quadruple 90 à 93, commandé par les machines de 50 chevaux. Ce groupe comprend deux usines à meules 90-91 contiguës et deux usines de grenage 92-93 séparées des deux premières par le chemin de service.

L'usine 91 venait d'être chargée de 20^{kg} de matière formée par moitié de compositions déjà battues 1^{h}, 5 et de grains de diverses grosseurs provenant des fabrications courantes. Suivant l'usage adopté à Angoulême, les deux paires de meules contiguës sont chargées et arrêtées en même temps; le service du chargement est fait dans l'une par le conducteur du groupe, dans l'autre par l'aide chargé des transports. Le conducteur est tenu de visiter les deux usines, de vérifier le chargement et de s'assurer du départ de l'aide avant de remettre en train.

Le 13 décembre depuis minuit, l'auxiliaire MADIGOU conduisait le groupe, et l'auxiliaire BRUNAUD faisait les transports : à 5^{h} 55^{m} les deux usines avaient été arrêtées, les chargements enlevés, et de nouvelles charges, composées comme il a été dit plus haut, introduites et étendues sur la piste, par MADIGOU en 91, par BRUNAUD en 90. Après son travail fait, BRUNAUD

sortit de 90 pendant que MADIGOU sortait de 91, et il se dirigea vers son wagonnet pour le reconduire au dépôt, tandis qu'on mettait en train. L'explosion se produisit presque aussitôt après son départ, avant qu'il eût atteint le wagonnet. MADIGOU déclare qu'il a mis en train l'usine 91 aussitôt après avoir achevé le chargement, qu'il est entré ensuite en 90 pour visiter et vérifier l'état de la matière, qu'il a fait le tour de la piste et qu'il est revenu ensuite au levier d'embrayage dans la galerie pour mettre en train; c'est au moment où il tenait le levier de 90 que l'explosion s'est produite en 91; cette dernière usine aurait ainsi marché pendant une minute environ entre le moment de la mise en train et celui de l'explosion. Malgré cette déclaration, le directeur et l'ingénieur de la poudrerie sont d'avis que l'explosion s'est produite dès la mise en train, avant que les meules aient fait un tour, et ils fondent leur opinion sur la constatation de deux faits : les empreintes profondes produites dans les enduits des murs de l'usine, qui résultent évidemment du choc de grains de poudre projetés par l'explosion et non encore comburés au moment de leur contact avec le mur, la disparition complète de ces grains dans les matières après cinq ou six passages des meules sur la charge. Des expériences directes ont prouvé qu'après trois ou quatre tours les grains sont complètement écrasés et divisés; dès lors, de ce que les empreintes prouvent que les grains existaient encore intacts, on a conclu que les meules n'avaient pas fait trois tours avant l'explosion; on est ainsi conduit à expliquer l'explosion par la chute des meules à nu sur la piste par suite d'une solution de continuité de la matière au moment de la mise en train. Cette opinion des ingénieurs d'Angoulême ne concorde point avec la déposition de l'ouvrier MADIGOU; mais il faut remarquer que cet ouvrier n'a pas gardé le souvenir bien net de ce qui s'est passé lors de l'explosion : il avait, dans un premier interrogatoire fait par le directeur, déclaré qu'il avait arrêté l'usine 91 aussitôt après l'accident; mais il a été établi que les meules ont continué à tourner pendant un temps assez long et n'ont été arrêtées que par le sieur COMPAIN venu de l'un des dépôts voisins; ce fait indique que MADIGOU ne s'est pas bien rendu compte de ce qu'il avait fait.

Quel que soit d'ailleurs le moment où elle s'est produite, l'explosion paraît due à la chute et à la marche des meules sur la piste dénudée par ur solution de continuité ou un déplacement de la matière : la piste dans ce usine est, en effet, très lisse; une première explosion s'y est produite le 7 1880 et a été attribuée à un déplacement des matières; la piste a été piquée au marteau et l'on reconnaît encore les traces de cette opér mais les effets du piquage sont peu durables, et au bout de peu d les déplacements se reproduisent aussi considérables qu'avant l'or Toutes les autres parties des mécanismes des meules et des tran de l'usine 91 étaient d'ailleurs en bon état; une réparation pa

support du grattoir) avec visite générale des pièces y avait été faite huit jours environ avant l'accident et tout était en ordre; aucun dérangement ne s'est d'ailleurs produit dans les organes qui, après l'explosion, se trouvent encore en état de bien fonctionner. Tous les ustensiles et objets en service dans l'usine ont d'ailleurs été retrouvés en place, et aucun d'eux n'avait été oublié sur la piste. Enfin les marques constatées après l'explosion sur les meules et la piste, empreinte de clous en cuivre, trace de cuivre écrasé, etc., proviennent de la continuation de la marche après l'explosion lorsque la piste était couverte de plâtras, morceaux de tuiles et débris de la couverture en serge.

Le mode de chargement usité à Angoulême pour les repassages pouvait d'ailleurs jusqu'à un certain point faciliter les solutions de continuité ou les déplacements de la matière : les repassages sont formés de proportions variables de compositions déjà triturées et contenant $3\frac{1}{2}$ à 4 pour 100 d'humidité et de débris de grains provenant des fabrications et pouvant contenir de $1\frac{1}{2}$ à 3 pour 100 d'humidité; les deux sortes de matières sont pesées séparément et ne sont ni mélangées ni arrosées dans les tines; les grains se trouvent au-dessus des compositions, et le mélange ne se fait qu'au chargement et surtout à la trituration. La matière ainsi étendue sous les meules n'est pas régulière ni homogène : on peut accidentellement, au début du travail, avoir ici un amas de grains secs, là une couche de matière humide, et ces variations de consistance de la matière peuvent être une cause de déplacements plus considérables. Il peut aussi arriver que l'ouvrier, pressé ou peu soigneux, ne prenne que des grains pour garnir le dessous de la meule jusqu'au culot, et que ces grains n'arrivent pas au contact et laissent une ligne de la piste à nu.

Les accidents qui proviennent de la dénudation de la piste ne seront évités que par la suspension des meules, et il est à désirer que des appareils de suspension soient installés promptement dans toutes les usines qui peuvent les recevoir. Dans toutes les usines qui n'en sont pas pourvues et dans lesquelles la nature du moteur ne permet pas de mettre en train à petite vitesse (3 à 4 tours par minute), il serait utile de faire faire un demi-tour aux meules à l'aide du mouvement de galetage avant de donner le mouvement par le moteur, toutes les fois qu'on chargera des repassages contenant des gros grains ou qu'on aura laissé séjourner les meules sur des culots de matières déjà triturées. Enfin, la mesure qui consiste à piquer la piste est une précaution utile, qui peut être appliquée toutes les fois que les meules donnent des déplacements considérables; mais elle ne produit que des effets peu durables, et n'est qu'un palliatif insuffisant.

L'examen des effets de l'explosion sur l'usine 91 et sur les usines voisines a permis de constater que les appareils d'inondation sont bien installés et bien entretenus; ils ont parfaitement fonctionné dans l'usine contiguë 90.

Les avaries causées aux bâtiments sont d'ailleurs f
tème de construction et de disposition des usines est
que les usines sont peu chargées : la seule modificatic
ter aux détails de la construction consiste à remp
fond le dernier rang de tuiles par une bande de zinc,
des matériaux lourds et dangereux dans l'intérieur d
plosion.

En résumé, l'accident survenu le 13 décembre ne dc
négligence, ni à l'imprudence, ni à un défaut de soin
il est dû au mode de fonctionnement des mécanismes
en parfait état d'entretien. Les déplacements de m
lorsque les pistes sont lisses, ne cesseront d'être une
lorsque les meules seront empêchées de tomber sur la
modification des installations existantes : il est don
appareils de suspension soient placés le plus tôt possi
meules.

L'organisation des secours n'a donné lieu à aucu
pompes ont été amenées sur place très promptement;
eu à fonctionner; les usines étaient mouillées à l'intéri
d'inondation, et il n'y avait pas trace de combustion
jetés.

Paris, 7 janvier 1882.

L'inspecte

CH. AR

N° 25.

EXPLOSION SURVENUE LE 18 FÉVRIER 1882, D
Nos 26, 25 ET 25' DE LA POUDRERIE DE S.

(Lettre collective n° 38.)

LE MINISTRE DE LA GUERRE

A MM. L'INSPECTEUR GÉNÉRAL DES POUDRES ET SALPÊT
LES DIRECTEURS DES ÉTABLISSEMENTS DU SERVI
SALPÊTRES.

Paris, le

Messieurs, les usines nos 26, 25 et 25' de la po
de Saint-Chamas ont fait successivement explosi

de février dernier, blessant plus ou moins grièvement 5 ouvriers et causant des dégâts matériels assez importants.

Je vous envoie ci-joints les documents officiels relatifs à cet accident, ainsi que 4 vues photographiques des bâtiments et mécanismes et un plan présentant la zone de dispersion des débris.

D'après ces documents, l'explosion initiale se serait produite dans l'usine n° 26 (grenoir à retour) par le fait de la marche à vide d'un tamis; elle s'est ensuite communiquée, par les œillards des courroies motrices, au compartiment voisin n° 25 (grenoir à retour), puis, à distance, par des projections aériennes, à l'usine n° 25′ (tonnes grenoirs).

La marche à vide d'un tamis de l'usine n° 26 paraît devoir être attribuée à une erreur du conducteur de l'appareil. Quant à la propagation de l'explosion aux usines voisines, la cause s'en trouve, en premier lieu, dans le mode de transmission des grenoirs par courroies horizontales, disposition proscrite, dont on préparait la modification, et, en second lieu, dans le rapprochement anormal des bâtiments explosifs, auquel il sera remédié par la construction d'une nouvelle ligne d'usines dans l'étang de Berre, décidée depuis la reprise de possession de l'établissement par le service des poudres.

L'explosion du 18 février a donné lieu à deux incidents qu'il convient de signaler :

Le poudrier Chauvet, conducteur ordinaire de l'usine, se trouvait, au moment de l'accident, à l'extérieur de l'établissement, en un point d'où il a vu l'explosion, et il a, dans cette circonstance, fait preuve de la plus déplorable indifférence.

J'ai dû, sur la proposition de M. l'inspecteur général, prononcer la révocation de cet agent.

Il s'est produit, au contraire, des actes de dévouement dignes d'éloges, dans le sauvetage des bâtiments voisins, et notamment du dépôt n° 31, sur lequel le chef-poudrier Auburtin, le sous-chef Vion et le poudrier Courtasse sont montés pour enlever ou éteindre les débris enflammés dont il était couvert.

Une médaille d'honneur est décernée à chacun d'eux en récompense de leur belle conduite.

Cette punition et ces récompenses seront portées à la connaissance de tout le personnel du service par un ordre du jour, dont

vous m'adresserez copie en m'accusant récep
lettre collective.

**Rapport sur l'explosion survenue à la poudrerie d
le 18 février 1882.**

Les usines 26, 25, 25', qui ont fait explosion le 18 f
grenoirs : 26 et 25 forment un groupe de 2 comp
chacun un grenoir à retour et séparés par le cabinet r
qui commande chaque grenoir par une courroie hor
mur latéral ; 25' est un bâtiment isolé, situé à 20m au
2 tonnes grenoirs et recevant par câble métallique
turbine du groupe 26-25. Au moment de l'accident, les
ces usines étaient : au grenoir 26, le poudrier GADY qui
au grenier 25, le poudrier ROUX qui conduisait, et l'a
faisait les transports; à l'usine 25', le brigadier DARBÈS (M
les tonnes, et les auxiliaires PAUL et CARDINAL, qui fai
GADY et DARBÈS ont été légèrement blessés ; PAUL n'a p
LAVISON et CARDINAL ont reçu des brûlures et des cont
mais qui n'ont pas mis leur vie en danger. Le chef-p
le chef-mécanicien ROUSTAN étaient à peu de distance
dent et ont pu se rendre compte des phases de l'explo

Les dépositions de ces agents établissent nettement
fait explosion la première, que l'explosion de l'usine
contenues dans le groupe des deux grenoirs a suivi
qu'un certain intervalle de temps a séparé l'explosio
deux premières. Le point de départ de l'explosion ét
avons cherché, par l'interrogation des témoins et par
de l'usine 26, à déterminer la cause probable de l'acci
d'un tamis de grenoir presque intact nous a conduit à
ne contenait, au moment de l'explosion, qu'une très
poudre et, par conséquent, avait dû marcher à vide. (
d'un tamis est la cause de la plupart des explosions de
à Saint-Chamas, en particulier, cette marche à vide
reuse lorsque règne le mistral qui soulève et introduit
malgré toutes les précautions, des poussières, des c
graviers même, qui se mêlent aux matières en trava
que la vitesse de déplacement d'un tourteau sur sor
1m, 50 par seconde quand le grenoir marche à 60 tours

conduit à penser que le frottement résultant d'un déplacement aussi rapide peut produire promptement un échauffement dangereux, surtout en présence des corps étrangers présentant une certaine dureté; la marche à vide d'un tamis à laquelle a déjà été attribuée l'explosion du même grenoir 26. à la date du 1er mai 1879, est donc encore la cause première de l'accident du 18 février.

L'explosion ainsi déterminée dans le grenoir 26 s'est communiquée, par les œillards servant de passage aux courroies motrices, au compartiment 25, aux matières contenues dans une armoire placée à l'intérieur du cabinet contre le mur latéral sud de 26 et peut-être, en même temps, dans une seconde armoire placée contre le mur extérieur de 25. L'explosion de ces matières, en quantité d'au moins 40kg dans chaque armoire, survenant au moment même où les débris des bâtiments et mécanismes des grenoirs étaient projetés par l'explosion intérieure, a changé la direction naturelle et ordinaire des projections; les armoires étant adossées à des murs forts placés au nord de chacune d'elles, l'expansion des gaz s'est faite en partie vers l'est et l'ouest et surtout vers le sud, et les débris provenant des usines 25 et 26 ont été lancés au loin dans cette dernière direction vers l'usine 25' et le dépôt 31.

Devant l'usine 25' stationnait une brouette portant un baril de matières grenées provenant de la tonne et conduite par l'ouvrier PAUL, qui attendait le second baril pour faire son transport au bâtiment 28; contre le mur nord de la même usine était un wagonnet portant des matières à grener et des poussiers provenant du tamisage et contenant, en ce moment, 5 barils pleins de poudre; ces barils, recouverts de simples capotes en toile, se trouvaient ainsi à moins de 20m au sud du groupe 25-26; ils ont été sans doute atteints par les débris enflammés de ce groupe projetés vers le sud, comme nous l'avons dit; ils ont pris feu, et l'usine 25' a fait explosion à son tour. Les débris enflammés lancés sur le dépôt 31, qui est couvert en tuiles, ont été éteints par les hommes accourus sur le théâtre de l'accident. Les explosions ayant été successives, les ouvriers de 25 et de 25' avaient pu s'enfuir hors de leurs usines.

En résumé, l'explosion a été produite dans l'usine 26 par la marche à vide d'un tamis; elle s'est communiquée à l'usine 25 et à l'armoire par les œillards dont la disposition était vicieuse; elle a atteint l'usine 25' et les matières avoisinantes, qui n'étaient pas suffisamment distantes et séparées du groupe 25-26.

La marche à vide du tamis de l'usine 26 est le résultat, soit d'une négligence, soit d'une erreur de l'ouvrier GADY, qui conduisait cette usine. La présomption de négligence nous paraît devoir être écartée; GADY est un ouvrier soigneux, bien noté, connaissant le service des grenoirs, assez ancien dans la poudrerie pour avoir assisté à l'explosion survenue le 1er mai

1879, dans le même grenoir 26, et n'ignorant pas les soins qu'exigent et les dangers que présentent ces appareils. Une erreur, au contraire, est probable et s'explique par la disposition même des grenoirs. A la suite de l'explosion de 1879, l'appareil a été installé suivant le type en usage dans quelques établissements et adopté en premier lieu à Esquerdes : les trémies de chargement suspendues aux charpentes ont été supprimées, et les tamis ont été munis de couvercles dont une partie, en forme de segment de cercle, est mobile; pour charger un tamis ainsi monté, l'ouvrier lève d'une main la partie mobile et, de l'autre, introduit la matière en s'assurant si le guillaume est convenablement chargé. Ce mode de chargement est bon quand il est employé dans les conditions de son installation première, c'est-à-dire quand on arrête le grenoir pour le charger; mais, si l'on fait le chargement en marche, ce que les nécessités de la fabrication exigent aujourd'hui dans tous les établissements, les inconvénients surgissent : l'ouvrier est obligé de déposer la tine de matière à grener dans un coin de l'usine, sur le plancher, et de faire, de la tine au grenoir, autant d'allées et venues successives qu'il a de tamis à charger; aucun signe apparent ne lui indique exactement où il en est à chaque voyage : une erreur est donc toujours à craindre et l'ouvrier le plus habile peut, soit charger deux fois le même tamis, soit en oublier quelqu'un dans la série des chargements. La disposition des tamis que je viens de décrire, et qui existe à Saint-Chamas et dans d'autres établissements, ne convient donc pas pour le chargement en marche; et, dans ce cas aujourd'hui général, l'emploi des trémies est bien préférable : une seule main suffit à l'ouvrier pour mettre les matières dans la trémie; de l'autre, il porte le boisseau contenant les matières à grener; il peut donc faire le chargement d'un mouvement continu, faisant le tour du grenoir sans jamais revenir sur ses pas et s'arrêtant successivement à chaque couple de trémies pour y introduire la matière qu'il transporte. Il y a donc lieu de revenir à l'emploi des trémies et de les rétablir dans tous les grenoirs où elles ont été supprimées; on conservera d'ailleurs les couvercles à segment mobile qui permettent à l'ouvrier de vérifier à tout moment, soit en marche, soit en arrêt, le chargement et le débit des guillaumes.

Les transmissions par courroies horizontales dans les grenoirs à retour, qui ont amené la communication de l'explosion du grenoir 26 au grenoir 25 et à l'armoire, ont été proscrites et leur suppression a été ordonnée par lettre ministérielle du 22 avril 1880. L'explosion du 18 février démontr la sagesse de cette mesure et la nécessité de l'appliquer partout immédi tement. A Saint-Chamas, la transformation de la transmission avait proposée depuis longtemps, mais les projets présentés étaient défect et n'ont pu être approuvés; des instructions précises pour la réd d'un projet définitif ont été données sur place au cours de l'insr

générale de 1881, et il en a été rendu compte au ministre par lettre du 24 septembre 1881; mais d'autres études urgentes, champ de tir, nouvelles usines de la digue, voie ferrée, remplacement des pilons par des meules, etc., ont mis obstacle jusqu'ici à la présentation du projet de modification des grenoirs. Ce retard n'a d'autre cause que l'étendue et l'importance des travaux à étudier et à exécuter pour améliorer l'état dans lequel se trouvait la poudrerie lorsqu'elle a été remise au service. La reconstruction de grenoirs, qui doit être entreprise d'urgence, sera faite suivant les bases prescrites quant aux transmissions. Les conséquences du vice existant dans cette partie du mécanisme, qui consistent dans la communication de l'explosion d'un compartiment à tout le groupe, ont été aggravées par la disposition des armoires destinées à contenir les matières en cours de grenage; l'usage des armoires a été introduit dans plusieurs établissements dans le but de réduire au minimum la quantité de poudre contenue dans l'usine proprement dite et de diminuer, autant que possible, le danger qui, en cas d'explosion, menace la vie du conducteur; ces armoires, destinées à recevoir les tines des matières à grener, que l'on introduit successivement par petites charges dans l'usine, et les tines de grains et de poussiers, qu'on y dépose en attendant leur enlèvement, sont ordinairement placées contre les murs forts extérieurs qui les abritent. A Saint-Chamas, vu la nécessité de les préserver du mistral, on les a mises contre le mur sud de chaque compartiment; l'une d'elles a été ainsi placée dans le cabinet de la turbine; mais ce cabinet, à cause de la disposition des œillards et des courroies de commande, était fort exposé aux chances d'explosion, et la présence de l'armoire était dangereuse et devait aggraver les conséquences d'un accident, ainsi que l'événement l'a prouvé. Il faut absolument se garder d'entreposer des matières susceptibles d'explosion dans le cabinet qui sépare deux usines et qui est destiné à les protéger l'une contre l'autre : les armoires intérieures doivent donc être supprimées. Parmi les dispositions qui peuvent être adoptées pour placer ces armoires à l'abri du mistral et hors du cabinet des transmissions, on signale celle qui consisterait à donner au groupe, lors de sa reconstruction, une galerie postérieure au moyen d'un mur analogue au mur de masque des groupes construits à Sevran-Livry, Angoulême, Saint-Médard, etc. En fermant cette galerie du côté du nord, par une porte qui sera tenue close en cas de mistral, en y disposant les armoires et faisant arriver à ses extrémités les wagonnets de transport, on obtiendra une disposition satisfaisante en ce qui concerne le dépôt des matières et le service de l'usine, et l'on renforcera, en même temps, les murs de fond, dont la résistance sera mieux assurée.

La propagation si rapide de l'explosion du groupe 25-26 à l'usine 25′ démontre que les deux bâtiments 25 et 25′ sont beaucoup trop rapprochés et insuffisamment protégés l'un contre l'autre; la ligne des grenoirs ne

comprenait, à l'origine, ni l'usine 25′, ni l'usine 28′. Ces deux constructions ont été intercalées par l'administration précédente entre des bâtiments dont la distance était à peine de 50^{m}, en sorte qu'il n'est resté que 20^{m} entre les nouvelles usines et les anciennes ; les plantations qui les séparent sont peu garnies ; aucun merlon n'a été établi pour les isoler. Ce rapprochement excessif des bâtiments à poudre n'est pas particulier à la ligne des grenoirs ; dans un ensemble de bâtiments primitivement bien conçu et bien disposé, on a semé, de tous côtés, de petites constructions nouvelles servant de dépôts de matières, telles que 31′, 31″, 32′, 33′, 34′, 34″, 34‴, etc. ; et, dans le voisinage du séchoir à l'air surtout, l'accumulation est excessive et peut être fort dangereuse. Il est donc nécessaire de construire au plus tôt les usines et dépôts de la nouvelle digue et d'abandonner toutes ces petites annexes qui accumulent les poudres dans un espace trop restreint. Le mode de construction des usines 25 et 25′ était d'ailleurs défectueux ; les devantures étaient lourdes, fixées sur une forte charpente ; les couvertures, bien que faites de serge, étaient fort résistantes, la serge étant posée sur un voligeage jointif, maintenu entre deux lignes de chevrons, l'une au-dessus, l'autre au-dessous des voliges, et présentant ainsi un obstacle considérable en cas d'explosion ; la serge elle-même, soit qu'elle fût très ancienne, soit qu'elle eût été mal préparée, était plus combustible que la serge actuellement employée, et l'on en a retrouvé de nombreux débris comburés, tandis que la serge de l'usine 26, posée en 1879, n'a présenté aucune trace d'inflammation ou d'ignition. Le plancher des deux usines était posé sur des lambourdes portant, dans l'usine 25, sur des murettes en maçonnerie, dans l'usine 25′, sur une poutre médiane, avec un vide considérable au-dessous ; la destruction des deux planchers met en évidence le vice de cette construction ; le plancher de 26, refait en 1879 sur remblai plein, n'a pas été soulevé. Enfin, les lambris de 1^{m},25 de hauteur, qui garnissaient le bas des murs à l'usine 25, ont été encore une cause d'accumulation de poussiers de poudre augmentant les effets destructeurs de l'explosion. Toutes ces dispositions défectueuses, aujourd'hui proscrites de nos constructions d'usines, doivent être modifiées partout où elles existent encore ; il faut changer les couvertures et les devantures lourdes, supprimer les lambris et combler les vides des planchers.

En résumé, il ressort de l'étude des causes et des circonstances de l'explosion du 18 février qu'il y a lieu d'adopter les mesures suivantes :

1° Rétablir dans les grenoirs à retour les trémies de chargement en conservant les couvercles à partie mobile ;

2° Appliquer immédiatement les prescriptions du 22 avril 1880, ordonnant la suppression des transmissions par courroies horizontales, et veiller à la stricte fermeture des œillards ;

3° Construire dans les usines 25-26 une galerie postérieure dans laquelle les armoires seront placées et abritées du mistral;

4° Changer le plus tôt possible les anciennes couvertures et devantures des usines à poudre, supprimer les lambris intérieurs et refaire les planchers sur une aire pleine en béton avec couche supérieure en asphalte;

5° Supprimer, dès que l'exécution des constructions nouvelles le permettra, les nombreux dépôts auxiliaires désignés par les indices ′, ″ ou ‴, dans la nomenclature des bâtiments; et, jusque-là, réduire au moindre poids possible la quantité de poudre déposée dans ces bâtiments.

Il résulte, de l'exposé et de la discussion qui précèdent, que la responsabilité de l'explosion et de ses conséquences n'incombe à aucun degré au personnel de l'établissement. La marche à vide d'un tamis qui en est la cause première est un de ces accidents que ni les prescriptions du directeur, ni la surveillance des chefs, ni le bon choix des ouvriers ne peuvent empêcher; la communication de l'explosion aux bâtiments contigus et voisins est la conséquence de défauts de construction et de distribution, que les ingénieurs du service ont constatés et signalés, mais n'ont pas pu encore faire disparaître.

La conduite du personnel a d'ailleurs été digne d'éloges: sur l'ordre du directeur, accouru sur les lieux, le chef-poudrier AUBURTIN, le sous-chef VION et le poudrier COURTADE sont montés sur le toit du dépôt 31 et ont éteint les nombreux débris enflammés qui y avaient été lancés; les pompes ont été promptement amenées et mises en action; les ouvriers de tous grades ont donné leur concours, et il semble que cette explosion, qui du reste n'a pas entraîné mort d'homme, n'ait pas inquiété, au même degré que les précédentes, le personnel si impressionnable de la poudrerie de Saint-Chamas.

La fabrication a été reprise immédiatement dans les usines à poudre de mine, en raison de l'urgence des besoins; les ouvriers désignés pour le service de ces usines s'y sont rendus sans difficultés; la marche de la poudrerie est donc assurée et le service a repris son cours régulier.

Paris, 8 mars 1882.

L'inspecteur général,

CH. ARNOULD.

N° 26.

INFLAMMATION DE BOIS PYROXYLÉ SURVENUE LE 8 AVRIL 1882, AU SÉCHOIR DU MOULIN-BLANC.

(Lettre collective n° 39.)

LE MINISTRE DE LA GUERRE

A MM. L'INSPECTEUR GÉNÉRAL DES POUDRES ET SALPÊTRES;
LES DIRECTEURS DES ÉTABLISSEMENTS DU SERVICE DES POUDRES ET SALPÊTRES.

Paris, le 18 juillet 1882.

Messieurs, un commencement d'incendie s'est déclaré, le 8 avril dernier, au séchoir de la fabrique nationale de coton-poudre du Moulin-Blanc, pendant le séchage d'une charge de bois pyroxylé destiné à des essais de fabrication.

Je vous envoie ci-joints les documents officiels relatifs à cet incendie, qui semble devoir être attribué au contact de parcelles de substance pyroxylée avec l'enveloppe de l'appareil de chauffage.

Il résulte de ces documents que les dégâts ont été insignifiants et qu'aucune responsabilité ne doit être imputée au personnel de la fabrique.

Il me sera accusé réception de la présente lettre collective.

BILLOT.

Rapport sur un commencement d'incendie survenu dans le séchoir (bâtiment E) de la fabrique nationale de coton-poudre du Moulin-Blanc.

L'accident qui est arrivé à la fabrique nationale de coton-poudre du Moulin-Blanc, le 8 avril, dans le bâtiment E, n'a aucun caractère de gravité : c'est un commencement d'incendie déterminé par l'inflammation de matières pyroxylées sous l'influence de la chaleur, dans les circonstances suivantes :

A défaut d'un séchoir spécial pour le coton-poudre, qui n'est pas encore installé au Moulin-Blanc, on utilise pour le séchage des produits pyroxylés les cylindres établis dans le bâtiment E pour la dessiccation des cotons en

floches : à cet effet, on étend un drap sur le disque en bois à jour qui ferme le fond supérieur et l'on met sur ce drap les produits à sécher; c'est ainsi que se sont faites jusqu'à ce jour les épreuves de réception du coton-poudre livré à la marine; c'est ainsi qu'on a séché l'amidon-poudre, l'hydronitrocellulose et autres produits ayant été l'objet d'essais de fabrication. On a appliqué le même procédé dans les études sur la préparation du bois pyroxylé.

Depuis quelque temps on essaye, pour cette préparation, l'emploi de pâte de bois provenant de l'industrie privée. Le produit livré en feuilles par le commerce est déchiqueté, soumis au trempage acide et aux lavages, puis additionné de salpêtre pour être ensuite grené à la tonne. L'incorporation du salpêtre se fait à chaud par voie liquide, à défaut de meules permettant de mélanger par trituration : pour cela, on prépare une dissolution de salpêtre saturée à chaud au dosage voulu, et l'on y ajoute la pâte du bois pyroxylé. Mais, pour éviter le refroidissement et la précipitation du salpêtre qui changerait le dosage, il faut que le bois soit porté à une température convenable; on a adopté la limite de 45° qui a donné de bons résultats pratiques, et qui n'était pas assez élevée pour déterminer la décomposition du bois, attendu que ce produit n'était retiré du lavage qu'au moment où il donnait au moins 6 minutes à l'épreuve de chaleur.

C'est ce chauffage du bois pyroxylé qui se faisait le 8 avril, dans le bâtiment E; sur les fonds de 3 cylindres, recouverts chacun d'un drap, on avait étendu 1^{kg} de pâte par cylindre (poids à l'état humide); les précautions d'usage avaient été prises pour que la matière n'occupât que la partie centrale du cylindre correspondant au disque en bois et ne portât pas sur la partie métallique formant double enveloppe; l'étendage avait été fait le matin, vers $6^h 30^m$, par l'ouvrier auxiliaire TROMEUR; cet homme était descendu pour surveiller le berlandage, vers 7^h, après avoir vérifié la température du bois qui n'atteignait pas encore 30° (on comptait, d'après l'expérience, deux heures au moins de chauffage pour atteindre 45°); il était depuis 15 minutes environ au rez-de-chaussée quand il entendit un soufflement à l'étage; montant aussitôt, il vit que la matière du bois avait pris feu et déterminé un commencement d'incendie; il éteignit les draps qui brûlaient, appela les hommes du trempage et l'on se rendit immédiatement maître du feu.

Il est fort difficile de déterminer la cause de l'inflammation; elle ne paraît pas devoir être attribuée à la décomposition du bois pyroxylé par la chaleur, parce que le bois, chauffé depuis moins d'une heure, n'était pas encore à la température de 30° ou 35°, qui n'est évidemment pas assez élevée pour altérer rapidement un produit donnant plus de 6 minutes à l'épreuve de chaleur. Mais il se peut que certaines parties plus ou moins ténues, soit de la matière en cours de chauffage, soit de celle qui avait été em-

ployée les jours précédents, soient ve
enveloppe métallique du cylindre e
que la portion placée au centre de l'
parcelles d'amidon-poudre ou d'hyd
rement manipulées et séchées sur l
poudre presque impalpable, se soient
de la double enveloppe et se soient d
répétée de la chaleur. Quelle que so
terminante, l'accident du 8 avril dém
d'un séchoir spécial, incombustible,
tières à sécher ne puissent pas venir
tement chauffées. Un projet a été ré
en ce moment, soumis à l'approbatio

D'après les considérations qui pré
ponsabilité de l'accident n'incombe
nieur chargé du service a, dans des e
le mieux possible les seuls appareils
épreuves de chaleur, de la qualité d
les précautions requises pour assurer
le peu d'importance des dégâts en e
chargé des opérations, et en partic
observé exactement ces précautions.
d'esprit en arrêtant le commencemen
vu le peu d'importance de l'événem
faveur.

Je propose, conformément au pro
charge des pertes et de les imputer à

Paris, 28 avril 1882.

N° 27.

EXPLOSION SURVENUE LE 22 AVRIL 1882, DANS LE GRENOIR A RETOUR N° 120 DE LA POUDRERIE DU RIPAULT.

(Lettre collective n° 40.)

LE MINISTRE DE LA GUERRE

A MM. L'INSPECTEUR GÉNÉRAL DES POUDRES ET SALPÊTRES;
LES DIRECTEURS DES ÉTABLISSEMENTS DU SERVICE DES POUDRES ET SALPÊTRES.

Paris, le 18 juillet 1882.

Messieurs, l'usine n° 120, à grenoir à retour, de la poudrerie nationale du Ripault, a fait explosion le 22 avril dernier, pendant le grenage de la poudre F_1.

Trois ouvriers ont trouvé la mort sous les décombres de l'usine, et les dégâts matériels sont considérables.

Je vous envoie, ci-joints, les documents officiels relatifs à cette explosion, ainsi que deux vues photographiques et trois plans y annexés.

L'inflammation de la poudre dans un tamis de grenoir à retour est un fait malheureusement assez fréquent; mais la destruction du bâtiment par suite de ce fait ne s'est jamais produite, avec le type de construction adopté depuis plus de soixante ans. C'est donc à l'abandon, qui aurait été fait de ce type, qu'il faut attribuer les conséquences désastreuses de l'accident du 22 avril.

Cet accident vient ainsi justifier les propositions présentées, pour la reconstruction partielle de la poudrerie du Ripault, par le service des poudres et salpêtres, dès sa rentrée en possession de cet établissement à la date du 1er janvier 1880.

Les ingénieurs y verront une nouvelle consécration de la valeur des types réglementaires de construction des usines et dépôts, et feront tous leurs efforts pour en compléter partout la réalisation dans le plus bref délai possible.

Il me sera accusé réception de la présente lettre collective.

BILLOT.

Rapport sur l'explosion de l'usine n° 120 de la poudrerie nationale du Ripault.

L'usine n° 120, qui a fait explosion le 22 avril 1882, vers 7^{h} du matin, est un grenoir à retour qui travaillait en poudre F_1. Ce grenoir, qui était peu employé à cause de sa situation (il est placé à l'extrémité de l'une des lignes de la rive gauche, loin des dépôts 114 et 126 qui reçoivent les matières à grener), avait été remis en marche le 25 février, afin d'activer, conformément aux ordres ministériels, l'exécution de la commande de poudre F_1. Le service y était correctement organisé : le grenoir était conduit par le poudrier STEHLIN qui en connaissait bien le travail ; les transports étaient faits par l'auxiliaire GENTY; la quantité de matières contenues dans l'usine était limitée au strict nécessaire; une armoire extérieure, appliquée contre le mur de gauche, que M. le directeur MORIN avait fait récemment installer, servait à entreposer les matières en cours de travail, de manière à ne laisser dans l'usine même que la quantité de 40^{kg} à 45^{kg} composée de la charge des 8 tamis et des grains et poussiers restant dans les tines ovales et les caisses entre deux opérations successives d'enlèvement. Les transmissions étaient en bon état; elles avaient été transformées en 1881 pour le remplacement de la commande, au moyen d'une courroie horizontale, par une commande à engrenage d'angle; l'œillard du mur de fond était exactement clos par des panneaux en bois, solidement établis. Enfin la vitesse de l'arbre coudé était réglée à 75 tours et, comme l'usine était actionnée au moyen d'un câble métallique par la machine à vapeur 118, qui commande la ligne 115-120, cette vitesse était régulièrement maintenue.

Mais, si le service était bien réglé et les installations mécaniques convenables, le mode de construction du bâtiment était mauvais : les trois murs du bâtiment n'avaient que 0^{m},50 d'épaisseur, le soubassement avait 0^{m},55 et les têtes des murs latéraux 0^{m},60 ; le mur du cabinet, parallèle au mur de fond, avait aussi 0^{m},50 d'épaisseur et n'était pas relié à ce mur, qui n'avait d'autre soutien qu'une sorte de contrefort de 1^{m},80 de hauteur, établi, à l'origine, pour recevoir un palier de la transmission primitive; la devanture était formée de vitrages et de panneaux légers, mais elle était divisée en trois parties par deux piliers en pierres de taille qui supportaient l'extrémité des poutres de la charpente, en sorte que ces poutres, par suite même de leur orientation contraire aux règles ordinairement suivies, ne maintenaient point les murs latéraux et devaient être entraînées par la chute des piliers en cas d'explosion; enfin la couverture, dont le faitage était au droit du mur de fond et qui avait deux pans inégaux, l'un sur le cabinet des transmissions, l'autre sur l'usine, était excessivement lourde, et se composait de chevrons en fer plat portant un double lattis noyé dans une double couche de plâtre de 0^{m},06 d'épaisseur, sur la face supérieure

de laquelle étaient clouées des ardoises, en sorte que la toiture seule, non compris les chevrons en fer ni les pannes, faitage et sablière en bois, pesait plus de 100^{kg} par mètre carré.

L'explosion qui s'est produite dans cette usine a été désastreuse : les mécanismes et le bâtiment ont été détruits, 3 ouvriers ont été écrasés sous les décombres. Les circonstances dans lesquelles s'est produit ce grave accident sont exposées avec détails dans les dépositions consignées au procès-verbal d'enquête et dans le rapport de l'ingénieur; je résumerai brièvement les faits constatés :

Le grenoir marchait depuis une heure à peine sous la conduite de STEHLIN; le servant GENTY amenait deux tines de matière à grener provenant du dépôt 114, et les déposait dans l'armoire abritée contre le mur de gauche où il devait reprendre des poussiers et des grains à reconduire au dépôt, lorsque survint le peintre DESBORDES qui devait donner une dernière couche de peinture à l'armoire. Le conducteur STEHLIN, voyant venir DESBORDES avec ses matériaux de peinture, et ayant l'ordre d'arrêter et de vider son usine avant d'y laisser travailler un ouvrier d'art, se rendit dans le cabinet pour débrayer la courroie, pendant que GENTY et DESBORDES restaient derrière le mur de gauche; à ce moment l'explosion se produisit, et ensevelit les 3 ouvriers sous les ruines du bâtiment, renversant en même temps l'armoire et les matières qu'elle contenait et qui ont été retrouvées sous les décombres.

L'explosion n'a pu être causée par l'imprudence d'un des ouvriers, puisque aucun ne se trouvait dans l'usine et que d'ailleurs la poudre de l'armoire n'a pas été atteinte par le feu. Il n'est pas probable qu'elle soit due à un échauffement dans les mécanismes; l'examen attentif des diverses parties frottantes n'a décelé aucune trace d'usure ou de grippement dans les portées, et le bourrelet de graisse blanche qui garnit la partie supérieure du collier n'avait fondu en aucun point; les roues de l'engrenage d'angle étaient l'une en bronze, l'autre en fonte à dents de bois, et les empreintes remarquées sur l'une d'elles doivent être attribuées à la chute des charpentes qui ont entraîné l'arbre horizontal. La dispersion et la rupture des tamis, des châssis du grenoir et de toutes les pièces de l'appareil ont été telles qu'on n'a retrouvé aucun tamis intact, contrairement à ce qui arrive dans la plupart des explosions de grenoirs, en sorte qu'aucun indice ne permet de conclure à la marche à vide d'un tamis. Mais il faut remarquer que, dans les réactions qui se sont produites à l'intérieur de l'usine au moment de l'explosion et dont l'énergie est accusée par le renversement des murs, les tamis et toutes les parties de l'appareil ont pu être brisés et projetés quand même ils se seraient trouvés vides. L'hypothèse de la marche à vide d'un tamis ne doit donc pas être écartée par cette seule considération qu'on n'a pas retrouvé de tamis intacts après l'explosion. On

peut admettre encore que l'explosion
par suite des chocs et des à-coups dor
biles par les tourteaux qui continuent
vitesse acquise; mais cette seconde hy
que la première; elle implique en effet
canismes, alors qu'il est démontré par
d'engrenage que ces roues tournaient
leurs, une cause d'explosion résidait d
tour, cette cause serait en quelque sor
actionnés par la vapeur, et ceux-ci de
plus fréquemment que les grenoirs m
pas été constatée jusqu'ici. Mais, quell
sion du grenoir 120, elle me paraît inh
reil; l'accident ne peut être attribué n
au défaut de surveillance, ni à un ma
le service, et il est permis d'affirmer q
lement construite, cet accident n'eût e

L'importance extrême des dégâts et
times de l'explosion sont dues à la ré
du bâtiment, qui a déterminé des réac
en a causé le renversement. Dans la p
retour, lorsque le service est réglé de
pas plus de 45^{kg} de poudre, les murs,
debout quand la couverture est en se
murs sont d'ailleurs ordinairement ma
support qui y est ancrée. Mais l'usine
dans de tout autres conditions, ainsi q
une couverture fort lourde et des mur
liaison entre eux : ce mode de cons
principes établis et appliqués depuis p
poudres, a causé tout le désastre : la
énorme, l'effort s'est reporté sur les m
piliers de devanture ont été renversés;
et du mur de cabinet a été également
l'explosion et de la chute des charpen
leur position aurait dû préserver de to
les ruines des murs destinés à les gara

Le système de construction de l'usi
condamné et les usines qui ont été éta
modifiées ou abandonnées aussitôt que
sion, dans mon rapport sur l'explosi
date du 19 novembre 1881, de demand

vertures, devantures, etc., des usines à meules 101 à 108; et je rappelle, en outre, que les inconvénients et les dangers que présentent la plupart des usines de la poudrerie du Ripault, et tout spécialement celles de la rive gauche, ont été signalés immédiatement après la remise de cet établissement au service des poudres et salpêtres, et que la nécessité d'un remaniement et d'un agrandissement a été nettement établie (rapport de M. l'inspecteur général Mayer, en date du 13 mars 1880; chapitre Ier du livret d'inspection du matériel pour 1880 et 1881; rapport adressé au ministre par le directeur de la poudrerie, le 21 octobre 1881).

Il importe donc de donner suite le plus tôt possible aux projets qui ont été présentés; mais, comme ces projets comprennent des travaux considérables dont l'exécution complète exigera plusieurs années, il faut, dès à présent, pourvoir à la sécurité du personnel et réaliser, sans aucun retard, les améliorations dont les installations actuelles sont susceptibles. Les mesures à prendre sont les suivantes :

Dans toutes les usines peu chargées, meules et grenoirs, rétablir les couvertures en serge et les devantures légères, conformes au type adopté dans les constructions les plus récentes du service.

Au groupe 19-20 de la rive droite, qui contient 2 grenoirs à retour, indépendamment du changement de la couverture et de la devanture comme ci-dessus, couvrir le cabinet de la roue en voûtelettes en briques sur fers à T, et relier les charpentes de support du grenoir aux murs latéraux par des armatures en fer avec plaques extérieures de serrage; surmonter les murs du cabinet d'un grillage pour arrêter les projections; consolider les murs latéraux extérieurs par des contreforts.

Au groupe 12-13, faire à la construction les mêmes modifications qu'au groupe précédent 19-20, et, dans ces nouvelles conditions, on pourra continuer d'employer alternativement, suivant les besoins, ou le grenoir ou le lissoir installés dans ce groupe.

Enfin, construire sur les terrains de la rive gauche, vers le bord de la rivière, les deux premiers groupes d'usines prévus dans le projet général de remaniement; installer dans l'un un grenoir à retour et un grenoir à cylindres, dans l'autre deux tonnes de lissage, et abandonner l'usine 116 qui ne serait plus utilisée pour le service ordinaire; elle pourrait toutefois servir aux essais du nouvel appareil de découpage ou de toute autre machine n'opérant que sur de très petites quantités de poudre.

L'exécution de ces mesures améliorera la situation, mais ne remédiera pas entièrement aux graves défauts de l'installation actuelle : le remaniement du plan général donnera seul la solution complète de la question, dont deux explosions successives ont démontré l'urgence.

Résumé. — L'explosion du 22 avril ne provient ni d'imprudence des ouvriers, ni de négligence ou relâchement dans le service, et aucune respon-

sabilité ne peut incomber aux fonction
Si, malgré les sages précautions pris
minimum la quantité de matière con
ainsi les effets d'un accident provenar
pareil, cette explosion a coûté la vie à
matérielles considérables, la faute en e
Cet accident démontre la nécessité d
constructions mal entendues et dange
et l'installation des bâtiments, afin de

Paris, 13 mai 1882.

N° 2

MESURE DES DENSITÉS GRA
A FU

(Lettre collec

LE MINISTRE DI

A MM. L'INSPECTEUR GÉNÉRAL DES POU
LES DIRECTEURS DES ÉTABLISS
SALPÊTRES.

Messieurs, l'examen comparatif
poudreries et à la commission cen
pour la mesure des densités gravi
ressortir des différences qui son
l'écart des limites inférieure et su
taire de cette poudre.

Ces différences, qui sont de na
cultés de fabrication, trouveraien
dans un défaut de tarage des gravi
dreries, si ces instruments n'avai
rapport à celui de la commission d

On pourrait encore supposer que les variations d'humidité de la poudre en cours de transport doivent influer sur les densités gravimétriques observées à l'établissement expéditeur et à la commission de Versailles, et, en fait, l'humidité constatée en poudrerie est presque constamment plus faible que l'humidité trouvée à la commission.

Mais il ne semble pas qu'il y ait de relation directe entre les différences des humidités et les différences correspondantes des densités gravimétriques.

Dans ces conditions, je suis amené à penser que ces dernières différences peuvent être attribuées, au moins en partie, à ce que l'épreuve des densités gravimétriques n'est pas exécutée d'une manière rigoureusement identique dans les poudreries et à la commission de Versailles.

Je rappelle, en conséquence, à MM. les directeurs des poudreries que cette épreuve doit être faite conformément à l'art. 30 du règlement du 10 mars 1857 sur les épreuves des poudres. En outre, au commencement et à la fin de chaque série d'opérations, on doit procéder à un nettoyage à sec de l'intérieur du gravimètre : on se sert, à cet effet, d'une brosse très molle et d'un linge fin, pour maintenir la surface intérieure dans le plus grand état de propreté possible, en ayant soin d'éviter ce qui pourrait l'altérer. Le gravimètre ne doit jamais être lavé.

Je vous prie, Messieurs, d'assurer, chacun en ce qui vous concerne, l'exécution des prescriptions contenues dans la présente lettre collective, dont il me sera accusé réception.

BILLOT.

N° 2

EXPLOSION SURVENUE LE 29 A MEULES N° 9 bis DE LA

(Lettre collec

LE MINISTRE DI

A MM. L'INSPECTEUR DES POUDRES ET SAL
LES DIRECTEURS DES ÉTABLISSEME
SALPÊTRES.

Messieurs, l'usine à meules n°
de Vonges a fait explosion le 29 j
ration d'une charge de poussiers

Je vous envoie ci-joints les do
explosion, ainsi que deux vues pl
mécanismes après l'accident.

Cette explosion paraît devoir é
accidentel des matières, qui aurait
trop abondant et d'une accélératic

J'invite, en conséquence, MM.
recommander aux conducteurs de
que progressivement aux mécani
répartir successivement les arrosa
à la matière plus de 8 pour 100 d'

Mais l'unique moyen d'éviter
déplacements trop considérables
des meules, se trouvant dans l'em
qui s'opposent au contact des me
sément les directeurs à hâter l'en
été demandées pour l'installation
usines à meules qui n'en sont pas

M. l'inspecteur général, dans
l'attention sur les deux inconvén
29 juillet lui a donné lieu de cons

1° Excès de résistance de la toiture et de la devanture. En ce qui concerne la toiture, l'application des prescriptions réglementaires, qui comportent l'emploi de pannes et de chevrons *mobiles* et de serge peinte appliquée sur voliges non jointives, paraît réaliser le maximum de légèreté possible. Je me borne donc à recommander de réduire au strict minimum nécessaire l'équarrissage des pièces de charpente, ainsi que l'épaisseur et la largeur des voliges. Aucun projet de réparation de toiture d'un bâtiment à poudre ne sera, du reste, approuvé à l'avenir, s'il n'est accompagné d'un dessin donnant tous les détails d'exécution.

Pour les devantures, il convient de chercher à augmenter encore leur défaut de résistance, en appliquant le dispositif décrit dans ma dépêche n° 4878, du 5 du présent mois d'août, à la totalité des panneaux qui les constituent, y compris les panneaux inférieurs et supérieurs, lesquels s'ouvriraient sous une légère pression intérieure, en tournant à charnières, les premiers autour de leur arête inférieure et les seconds autour de leur arête supérieure. Ce dispositif va être étudié et les dessins en seront prochainement adressés aux établissements.

La présence d'un ouvrier en avant de la devanture eût pu être fatale à cet ouvrier, comme il est arrivé dans des accidents antérieurs. L'administration a déjà cherché à écarter cette chance d'accident, en prescrivant de placer la porte contre l'un des murs de pignon, et jamais au milieu de la devanture. La circulation en avant des devantures devant être interdite en principe, il y a lieu d'établir une entrée contre chacun des murs latéraux, quand les convenances du service exigent que l'accès de l'usine se fasse des deux côtés.

2° Dangers que présentent, au point de vue de la communication du feu aux bâtiments voisins, les prélarts tendus au-dessous des pannes dans la plupart des usines, pour préserver les mécanismes de la chute des corps étrangers qui peuvent tomber de la toiture.

M. l'inspecteur général demande que ces abris soient faits en étoffe incombustible et fréquemment nettoyés.

Ce sont là, en effet, de très bonnes précautions; mais il est difficile de compter sur leur complète efficacité, et il semblerait préférable de supprimer entièrement ces abris, dont l'introduction,

opérée en dehors de toute prescription offi
le danger d'incendie, l'inconvénient de s'o
expansion des gaz.

La chute de corps étrangers vers la parti
peu probable, et il est d'ailleurs possible de l
tretien plus soigné de cette partie de la cou
l'interposition, soit entre les chevrons et le
diatement au-dessous de l'étoffe imperméab
pan de serge dont l'adhérence, obtenue au
la céruse, avec l'étoffe supérieure, ne perm
tion du poussier dans l'intervalle des deux ét

Vous accompagnerez l'accusé de réception
collective des observations que l'examen des
viens d'indiquer vous aura suggérées. Je sta
tivement.

Rapport sur l'explosion survenue, le 29 juillet 1882, poudrerie de Vonges.

L'usine n° 9 *bis*, qui a fait explosion le 29 juillet,
de 20^{kg} de poussiers de poudre F_1. La charge, form
sier vert à 2 ou 2 $\frac{1}{2}$ pour 100 d'humidité et de $\frac{1}{5}$ de
préparée au dépôt n° 23, arrosée, au dépôt, de o^{kg}
les meules à 1^{h}55^m. A la mise en train, à la vite
avait reçu encore 1^{kg} d'eau ; ce dernier arrosage a lie
de l'appareil porté par les moises dans lequel l'ou
la mesure en caoutchouc, la quantité d'eau fixée.
fait cet arrosage en marche, le conducteur avait, s
la piste et surveillé la répartition de la charge ; l
mière période de mise en train est de 3 ou 4 m
4 tours au plus. Le conducteur avait ensuite rendu
pour donner aux meules leur vitesse normale de 9 à
vérifié cette vitesse et congédié l'auxiliaire chargé
entré dans le cabinet de la turbine où il avait fait l
sur le tableau disposé à cet effet, puis il venait deva
rer de la régularité de la marche, lorsque l'expl
s'était écoulé 4 ou 5 minutes depuis que les meul
tesse, ou 8 ou 9 minutes depuis la mise en train.

Le conducteur a été renversé par la devanture de l'usine, mais il n'a reçu ni brûlure, ni blessure : la couverture et la devanture ont été projetées en avant; ni le cabinet, ni l'usine contiguë, n° 9, n'ont souffert des suites de l'explosion.

Lors de l'enquête, les mécanismes ont été l'objet d'un examen minutieux : sauf deux bassins, dont l'un avait été projeté sur le plancher et dont l'autre était engagé sous la meule qui avait continué à tourner quelque temps après l'explosion, tout était en ordre; les boulons, écrous, chevilles étaient en place et intacts; l'essieu des meules sortait facilement; aucune trace de grippement n'existait sur l'essieu ou les rondelles. De même, les ustensiles en service, balayettes, pelles en bois, etc., étaient au complet et ont été représentés. L'explosion ne peut donc être attribuée ni à un dérangement des mécanismes, ni à la chute ou à l'abandon sur la piste d'un des objets existant dans l'usine.

Les surfaces des meules et de la piste ne présentaient rien d'anormal : aucune trace de choc ou d'écrasement d'un corps étranger n'a été constatée; mais la meule qui suit le repoussoir extérieur porte, sur une partie de son pourtour, des piqûres assez profondes qui déterminent l'adhérence et le relèvement de la matière; on remédie par de fréquents nettoyages à cet inconvénient, qui est commun à plusieurs usines à meules de l'établissement.

Les grattoirs et repoussoirs étaient en bon état et ne portaient pas trace de chocs ou d'efforts; le repoussoir extérieur est du dernier modèle; le repoussoir intérieur est d'un système plus ancien; mais son ouverture totale n'est pas supérieure à celle du type le plus récent et son mode de travail a paru régulier.

En somme, le fonctionnement de toutes les pièces était bon, et il n'existe dans l'appareil des meules aucune particularité qui puisse expliquer l'accident.

Il faut donc recourir à l'hypothèse d'un déplacement accidentel de la matière, qui aura occasionné la dénudation partielle de la piste et la marche à nu de l'une des meules. Ce déplacement a pu être facilité par l'état de la matière, dont l'humidité m'a paru un peu forte : tout compte fait, cette humidité devait atteindre et peut-être dépasser 10 pour 100 après l'arrosage en marche (1), et c'est précisément à la fin de cet arrosage que

---

(1) 12kg,500 de poussiers verts à 2 pour 100 contiennent.. 0kg,250 d'eau.
Arrosage au dépôt n° 23..... 0kg,750 »
Arrosage en marche..... 1kg,000 »
Total pour 20kg..... 2kg,000 »
Si la proportion des poussiers verts ou leur taux d'humidité augmente, le total dépasse 10 pour 100.

l'explosion s'est produite; il conviendra donc d'évi
aux matières une humidité aussi forte; il vaut mie
partiels, à vingt ou vingt-cinq minutes d'intervall
trop abondant.

Quoi qu'il en soit, de ce point spécial, les explos
placements trop considérables des matières, penda
être évitées par l'emploi des appareils de suspe
montés dans un certain nombre de nos usines. Il y
la prompte installation d'appareils de ce genre d
sont pas encore pourvues.

Les effets produits par l'explosion sur le bât
à aucune observation nouvelle et conduisent seu
prescriptions actuellement en vigueur sur le mo
devantures et des couvertures; dans les devanture
nuiserie vitrée doivent être appliqués à l'extérieur
aussi mobiles que possible; dans les couvertures, l
pas être cloués sur les pannes ou sablières, mais s
place par des tasseaux. Enfin, les toiles ou prélart
des usines, meules, grenoirs, etc., on tend au-dessou
des mécanismes pour préserver ceux-ci des corps
tomber de la toiture, exigent une surveillance p
attentif; ces prélarts, lorsqu'ils sont faits de cot
s'imprègnent de poussier, brûlent en cas d'explosio
cause de dangers pour les bâtiments voisins. Il fau
incombustible, les secouer et battre chaque semain
l'usine : c'est un point sur lequel il me paraît néces
tion des directeurs des poudreries.

En résumé, l'explosion de l'usine n° 9 *bis* de la p
présente aucun caractère particulier de gravité; l
usines à meules est bien organisé et surveillé; la co
était confiée à un ouvrier expérimenté, qui s'est
prescriptions concernant son travail; les machines
bon état d'entretien; les conséquences de l'explosio
dégâts matériels de peu d'importance; les agents d
pli complètement leurs devoirs. L'accident ne provi
ni de désordre, ni de toute autre cause que la surve
venir; il ne peut être attribué qu'à une cause toute f
un déplacement considérable de la matière sous l
marche, ayant déterminé la chute et la marche à nu

Paris, 9 août 1882.

L'inspe

Ch. A

N° 30.

DISPOSITIONS RELATIVES A LA DYNAMITE INDUSTRIELLE.

(Lettre collective n° 48.)

LE MINISTRE DE LA GUERRE

A MM. LES GOUVERNEURS MILITAIRES DE PARIS ET DE LYON;
LES GÉNÉRAUX COMMANDANT LES CORPS D'ARMÉE.

Paris, le 27 août 1882.

MON CHER GÉNÉRAL,

Les dépôts de dynamite industrielle, dont le nombre et l'importance s'accroissent constamment sur toute l'étendue du territoire, présentent, au point de vue militaire, un intérêt sérieux.

Il importe, en effet, qu'en cas de guerre cette dynamite, dont la quantité s'élève actuellement à 150000^{kg}, non seulement ne tombe pas aux mains de l'ennemi, mais encore puisse être utilisée par l'armée française.

Les réserves fréquemment formulées par les commandants de corps d'armée, à l'occasion de l'instruction des demandes en autorisation de nouveaux dépôts, témoignent d'ailleurs, à cet égard, de préoccupations dont il y a lieu de tenir compte.

L'autorité militaire est déjà, en vertu des décrets autorisant les fabriques et dépôts, investie, en cas de guerre, du droit, soit d'ordonner l'évacuation, soit d'opérer la réquisition de la dynamite; mais, pour qu'elle puisse user utilement de cette faculté, il est nécessaire qu'elle soit tenue au courant tant de l'existence même des dépôts que de l'importance de leurs approvisionnements.

Pour arriver à ce résultat, j'ai prié M. le ministre des finances, qui a dans ses attributions l'exercice des fabriques et dépôts de dynamite, de me faire parvenir trimestriellement un relevé général du stock de chaque fabrique ou dépôt, et je répartirai ensuite, entre les corps d'armée, les renseignements ainsi obtenus.

Vous recevrez donc, à l'avenir, mon cher général, dans le courant du mois qui suivra chaque trimestre, un état, même *néant,* de la situation des fabriques et dépôts de votre région; ce qui vous

permettra de faire étudier et d'ordonner, à l'avance et suivant les divers cas à prévoir, les dispositions que les généraux commandants de région auront à appliquer en temps de guerre à chacun de ces établissements.

La correspondance relative à cet objet me sera adressée sous le timbre de la 6e direction (poudres et salpêtres).

BILLOT.

N° 31.

NOUVELLES CONDITIONS DE RECETTE DES POUDRES $A\frac{13}{20}$.

(Lettre collective n° 51.)

LE MINISTRE DE LA GUERRE

A MM. L'INSPECTEUR GÉNÉRAL DES POUDRES ET SALPÊTRES;
LES DIRECTEURS DES ÉTABLISSEMENTS DU SERVICE DES POUDRES ET SALPÊTRES.

Paris, le 18 septembre 1882.

Messieurs, les résultats donnés par les lots de poudre $A\frac{13}{20}$, fabriqués par la poudrerie nationale de Sevran-Livry, ont conduit M. le ministre de la marine à apporter de légères modifications dans les épreuves de recette de cette poudre.

Ces épreuves ont été faites jusqu'à présent dans les deux canons de 14^{cm} modèle 1870M et de 10^{cm} modèle 1875M, en vue de l'appréciation de la constance des résultats dans les bouches à feu des deux calibres; mais, depuis que la régularité de la fabrication est obtenue, la double épreuve est devenue inutile, et il convient de revenir à la règle, généralement adoptée, d'essayer la poudre dans le plus petit des calibres auxquels elle est destinée, c'est-à-dire dans le calibre de 10^{cm} pour la poudre $A\frac{13}{20}$.

En outre, d'après les résultats des épreuves effectuées jusqu'à ce jour, cette espèce de poudre n'est pas tout à fait identique à la poudre de Wetteren à grains de 13 à 16^{mm} qu'elle doit remplacer, et elle ne peut reproduire les mêmes vitesses que cette dernière, à la fois dans le canon de 14^{cm} et dans celui de 10^{cm}; toutefois, les différences sont trop faibles pour entraîner un changement dans

la charge du canon, et il convient de faire porter par moitié ces différences sur les vitesses fournies dans chacune des bouches à feu de deux calibres, ce qui conduit à modifier légèrement les vitesses limites de recette dans le canon de 10^{cm} modèle 1875 M.

M. le ministre de la marine a, par suite de ces considérations, fixé pour la poudre $A\frac{13}{70}$ les conditions de recette ci-après :

Tir dans le canon de 10^{cm} *modèle* 1875 M.

Poids du projectile.....	14^{kg}
Poids de la charge.....	4^{kg},500
Densité de chargement.....	0,965
Vitesse de recette comprise entre.....	504^{m} et 513^{m}
Écart moyen inférieur à.....	2^{m},50
Pression maximum inférieure à.....	2650^{kg}

Je vous prie, Messieurs, de m'accuser réception de la présente lettre collective.

Pour le ministre et par son ordre,

Le général de division,
chef d'état-major général,

VUILLEMOT.

N° 32.

ABAISSEMENT DU PRIX DE VENTE DES POUDRES DE COMMERCE EXTÉRIEUR.

(Lettre collective n° 55.)

LE MINISTRE DE LA GUERRE

A MM. L'INSPECTEUR GÉNÉRAL DES POUDRES ET SALPÊTRES;
LES DIRECTEURS DES ÉTABLISSEMENTS DU SERVICE DES POUDRES ET SALPÊTRES.

Paris, le 12 octobre 1882.

Messieurs, les départements des finances et de la guerre se sont depuis longtemps occupés de rechercher les moyens de développer le commerce d'exportation des poudres : une notice, concertée entre les deux départements et rappelant les conditions

auxquelles sont livrées les poudres à feu destinées à l'exportation, a été insérée au *Journal officiel* du 9 août 1878 et adressée aux chambres de commerce et aux différents services publics intéressés.

La chambre de commerce de Marseille, en accusant réception de cette notice, a fait connaître que la différence existant entre le prix de vente de la poudre française et celui des poudres analogues fabriquées en Angleterre et en Allemagne était trop grande pour que les exportateurs eussent avantage à acheter en France la poudre de commerce extérieur (1), et elle a signalé la nécessité d'un abaissement du prix de vente de la poudre française.

M. le ministre des finances, en me transmettant le vœu de la chambre de commerce de Marseille, fit connaître qu'il n'aurait aucune objection à élever contre la réduction du prix de vente de la poudre de commerce extérieur dans le cas où le prix de revient, augmenté des frais de transport, serait reconnu inférieur au prix actuel. Il ajoutait que, si le prix de vente devait s'abaisser au-dessous de 1^{fr}, cet abaissement ne pourrait être autorisé que par un décret modifiant celui du 8 mai 1873, qui a fixé les limites du prix de vente à 1^{fr} et $1^{fr},30$ par kilogramme.

Le service des poudres et salpêtres, chargé d'étudier les moyens de réduire les prix de revient de la poudre de commerce extérieur, a reconnu tout d'abord que, dans les conditions actuelles de fabrication, on ne pouvait pas réaliser une baisse de prix suffisante pour soutenir la concurrence étrangère : la poudre de commerce est actuellement fabriquée au dosage de 72 salpêtre, 13 soufre et 15 charbon, et le prix de vente de 110^{fr} les 100^{kg} comprend la valeur de l'emballage, quand cet emballage est fait en barils d'une contenance supérieure ou égale à 8^{kg}. Dans ces conditions, la dépense afférente aux matières premières, à la main-d'œuvre de fabrication et à l'emballage, a été de $81^{fr},39$ par 100^{kg} en 1878 et $78^{fr},33$ en 1879; et, si l'on ajoute à ces prix les frais généraux, évalués à 125 pour 100 de la main-d'œuvre, et les frais

(1) Le commerce de Marseille prend en France environ 50000^{kg} de poudre de commerce extérieur par année, et achète environ 400000^{kg} aux fabriques allemandes ou anglaises.

Il en est à peu près de même pour Bordeaux et pour Nantes.

de transport, qui sont en moyenne de 4^{fr} par 100^{kg}, on arrive au prix de revient de 98^{fr}, 89 pour 1878 et 95^{fr}, 33 pour 1879, tandis que les prix de vente des poudres similaires à l'étranger ont été de 79^{fr}, 91 à Liverpool en mars 1880, et de 75^{fr}, 79 à Hambourg en décembre 1879. Cette différence de prix provient surtout de la teneur en salpêtre et de l'emballage, et la commission d'ingénieurs des poudres et salpêtres, qui fut chargée de rechercher les moyens d'atténuer ces différences, proposa : 1° de modifier le dosage en ramenant la proportion de salpêtre à 62 pour 100, quantité trouvée dans les poudres anglaises, et d'admettre à cet effet le dosage de la poudre de mine ordinaire; 2° d'adopter le procédé de fabrication des tonnes et presses, qui est le plus économique; et 3° de changer le mode d'emballage, d'employer des barillets semblables, sous le rapport de la confection et de la contenance, aux barillets anglais, et de prendre, ainsi qu'on l'a fait en Angleterre et en Allemagne, le baril de 25 livres, ou quart de baril, comme minimum du barillage ne donnant pas lieu à un supplément de prix.

La commission a émis, en outre, l'avis de conserver, pour les acheteurs qui attacheraient une certaine importance aux qualités balistiques, le type de poudre actuel, qui serait dénommé *poudre forte* et aurait le dosage de 72, 13 et 15.

Dans ces conditions, et le salpêtre raffiné étant au prix moyen de 60^{fr} les 100^{kg}, les prix de vente des deux espèces de poudre pourraient être fixés à 85^{fr} et 90^{fr} les 100^{kg}, y compris les frais de transport. Ces prix seraient applicables à la poudre vendue en barils, demi-barils et quarts de baril, contenant respectivement 45^{kg}, 22^{kg}, 500 et 11^{kg}, 250 de poudre; pour les barillets de contenance moindre, des suppléments de prix seraient stipulés d'après un tarif spécial.

Enfin, pour tenir compte des variations annuelles des prix du salpêtre et des changements que le développement de la fabrication pourrait apporter à la proportion des frais généraux afférente aux poudres d'exportation, il conviendrait de prévoir une variation déterminée en plus ou en moins des prix moyens indiqués ci-dessus.

J'ai, en conséquence, et sur l'avis conforme du comité consultatif des poudres et salpêtres, proposé à mon collègue, M. le ministre des finances, l'adoption des mesures suivantes :

I. Il sera fabriqué, à l'avenir, deux types de poudres de commerce extérieur, l'un, dit *poudre forte,* au dosage actuel de 75 pour 100 de salpêtre, 13 de soufre et 15 de charbon; l'autre, dit *poudre ordinaire,* au dosage anglais de 62 pour 100 de salpêtre, 15 de soufre et 23 de charbon.

II. Ces poudres seront logées dans des barillages du modèle anglais. Pour les barillets d'une contenance supérieure à 9^{kg}, le prix de la poudre comprendra la valeur de l'emballage; pour les barillets d'une contenance inférieure, les plus-values à payer seront fixées par le ministre des finances, de concert avec le ministre de la guerre.

III. Un décret, portant abrogation de celui du 8 mai 1873, autorisera le ministre des finances à fixer annuellement les prix de vente de la poudre de commerce extérieur, entre les limites de 70^{fr} et 100^{fr} par 100^{kg}, après entente avec le ministre de la guerre (1).

M. le ministre des finances ayant adhéré à ces propositions, je vous informe que les poudreries de Saint-Chamas, de Saint-Médard et du Pont-de-Buis seront chargées de la fabrication des nouveaux types de poudre de commerce extérieur, et je vous adresse, ci-joints, 4 exemplaires de l'instruction relative à cette fabrication.

J'invite les directeurs des trois poudreries désignées ci-dessus à m'adresser *d'urgence* des propositions en vue de munir leurs établissements, à bref délai, de l'outillage complémentaire (tonnes binaires et ternaires, presses, etc.) destiné à leur permettre de satisfaire aux demandes de la consommation que l'abaissement du prix de vente a pour objet de développer.

Des mesures ont, d'ailleurs, été prises pour que tous les établissements du service des poudres et salpêtres reçoivent de la poudrerie de Sevran-Livry la série complète des types de barils et barillets détaillée dans l'instruction précitée; ces barillages seront munis des étiquettes dont le modèle a été récemment arrêté.

Pour les livraisons courantes, ces étiquettes seront adressées aux poudreries par les soins du directeur du Dépôt central des poudres et salpêtres.

En m'accusant réception de la présente lettre collective, je vous

(1) Voir ci-après, p. *104, le décret du 30 décembre 1882.

prie, Messieurs, de me faire connaître les dispositions que vous aurez prises pour assurer l'exécution des prescriptions qu'elle renferme.

BILLOT.

INSTRUCTION

Sur la fabrication des poudres de commerce extérieur.

Il sera fabriqué deux types de poudres de commerce extérieur, savoir :

La *poudre forte,* ou n° 1, au dosage de 72 salpêtre, 13 soufre, 15 charbon ;

La *poudre ordinaire,* ou n° 2, au dosage de 62 salpêtre, 15 soufre, 23 charbon.

§ I.

PROCÉDÉ DE FABRICATION.

Le procédé de fabrication de ces poudres est fixé comme il suit :

I. — Trituration binaire.

		POUDRE ordinaire.	POUDRE forte.
		kg	kg
Binaire salpêtre (150kg gobilles en bronze).	Salpêtre.....	108,5	126,0
	Charbon.....	10,0	10,5
Binaire soufre (120kg gobilles en bronze).	Soufre.....	52,5	45,5
	Charbon	59,5	31,5

Durée de la trituration : 6 heures pour l'un et l'autre binaire ; 2 tonnes binaires salpêtre et 1 tonne binaire soufre donneront, par journée de 12 heures, 700kg de matières.

II. — Trituration ternaire.

		POUDRE ordinaire.	POUDRE forte.
		kg	kg
Charge d'un compartiment (30kg gobilles en bois dur).	Binaire salpêtre...	34	39
	Binaire soufre.....	16	11
		50	50

Durée de la trituration : 1h 40m, tout compris.

1 tonne ternaire à 2 compartiments donnera, par journée de 12 heures, 700^{kg} de matières.

III. — Humectation et compression ou galetage.

Ce travail peut se faire de 3 manières : a. par les presses; b. par le granulateur; c. par les meules.

a. *Par les presses.* — Le ternaire est humecté à 4 pour 100 d'eau, touillé à la main ou à la pelle, et tamisé. La matière humide est ensuite galetée à la presse et portée à la densité d'environ 1,500 pour la poudre ordinaire et 1,600 pour la poudre forte : on obtient facilement ce résultat en moulant le ternaire humide dans des cadres de poudre C_2, de 15^{mm} de hauteur, et ramenant, par la compression, l'épaisseur entre 5^{mm} et 6^{mm}.

b. *Par le granulateur.* — Le ternaire est transformé en grains ronds dans la tonne ordinaire de mine : le grain obtenu après tamisage mécanique est lissé pendant 3 à 4 heures dans la tonne de lissage de mine.

c. *Par les meules.*— Le ternaire, humecté, tamisé et pesé, est trituré sous les meules pendant 20 minutes tout compris. Ce mode de galetage ne sera employé que dans les poudreries qui disposent de meules suspendues pouvant recevoir une charge d'au moins 40^{kg} de matière; l'emploi des meules ordinaires, suspendues ou non, dans lesquelles la charge n'est que de 10^{kg} à 25^{kg}, est interdit, parce qu'il entraîne une augmentation de prix de revient.

IV. — Grenage.

Les matières obtenues par la presse, le granulateur ou les meules sont, après essorage, grenées à la tonne grenoir ou au grenoir à cylindres et tamisées entre les perces de 2^{mm},5 et 0^{mm},6.

V. — Poussiers.

Les poussiers sont toujours galetés à la presse; ils sont ensuite grenés comme les compositions.

VI. — Lissage.

Les grains provenant des compositions sont mélangés avec ceux des poussiers dans la proportion du rendement et lissés dans les tonnes de mine, à la vitesse de 12 à 14 tours pendant 12 heures au moins. La plombagine continuera d'être employée pour lustrer les grains (1).

On ramène, s'il y a lieu, l'humidité à 1 pour 100 environ pour le séchage.

---

(1) Le Dépôt central des poudres et salpêtres sera chargé d'approvisionner les poudreries en plombagine.

Épreuves. — La poudre terminée doit satisfaire aux conditions suivantes :

	POUDRE	
	ordinaire.	forte.
Densité gravimétrique	supér. à 0,900	supér. à 0,950
Densité réelle	» à 1,500	» à 1,600
Vitesse au fusil pendule (fusil lisse, charge 10^{gr}).	» à 350^{m}	» à 400^{m}
Grains au gramme	2,000 à 2,500	2,000 à 2,500

Observation. — Les fabrications devront être dirigées de manière à réduire, autant que possible, les frais de main-d'œuvre, et les directeurs des poudreries chargés de la fabrication des poudres de commerce extérieur devront veiller à ce que ces frais ne dépassent en aucun cas la limite de 8^{fr} par 100^{kg}.

§ II.

EMBALLAGE.

Les poudres de commerce extérieur sont enfoncées en sacs et barils.

La série du barillage adopté est donnée par le tableau ci-après : le baril pris pour unité et contenant 45^{kg} correspond au baril anglais de 100^{liv}; on a suivi, autant que possible, pour ses subdivisions la série anglaise; mais, pour faciliter les pesées et l'application des prix de vente, on a admis le poids à 0^{kg},450 comme représentant la livre anglaise, qui vaut, en réalité, 0^{kg},453.

Les trois premières espèces de barillage du tableau (baril, demi-baril et quart de baril) sont désignées sous le nom générique de *baril* : ils doivent toujours contenir le poids de poudre indiqué à la colonne 3 comme contenance normale; et, quand la poudre est livrée dans ces trois espèces, le prix de la poudre comprend la valeur des enveloppes.

Les espèces suivantes, plus spécialement dénommées *barillets*, peuvent contenir des poids différant de la contenance normale indiquée par la colonne 3. Lorsqu'un consommateur demandera que des poudres lui soient livrées sous une contenance non inscrite à la colonne 3, le barillet à employer sera celui dont la contenance normale est immédiatement supérieure à la contenance demandée : ainsi, pour fournir de la poudre à 6^{kg} par barillet, on emploiera le barillet dit *sixième;* à 2^{kg}, on emploiera le *vingtième*, etc. L'emploi de barillets aux diverses contenances donnera toujours lieu au payement des plus-values qui seront fixées pour 100^{kg} de poudre par un arrêté ministériel.

Tous les barils et barillets porteront des estampilles ou étiquettes, dont le modèle sera envoyé aux établissements, et qui recevront, au moment de l'emballage, l'indication de la contenance réelle. Une série complète des types de barillage sera envoyée aux établissements.

Tableau du barillage de la poudre de commerce extérieur.

DÉSIGNATION		CONTENANCE		OBSERVATIONS.
générique.	particulière.	normale en kilogrammes.	en livres de $0^{kg},450$ (livres angl.).	
1	2	3	4	5
Barils ...	Baril.	45,00	100	Contenance fixe sans plus-value sur le prix de la poudre.
	$\frac{1}{2}$ Baril.	22,50	50	
	$\frac{1}{4}$ Baril.	11,25	25	
Barillets.	Cinquième.	9,00	20	Contenance variable. Plus-values variables suivant l'espèce et la contenance.
	Sixième.	7,50	$16\frac{2}{3}$	
	Dixième.	4,50	10	
	Douzième.	3,75	$8\frac{1}{3}$	
	Vingtième.	2,25	5	
	Vingt-cinquième.	1,80	4	
	Trentième.	1,50	$3\frac{1}{3}$	

Paris, 24 mai 1882.

L'inspecteur général,
Président de la commission
de fabrication des poudres,
CH. ARNOULD.

Approuvé :

Paris, le 12 octobre 1882.

Le ministre de la guerre,
BILLOT.

N° 33.

FABRICATION DES POUDRES A CANON A TRITURATION RÉDUITE.

(Lettre collective n° 57.)

LE MINISTRE DE LA GUERRE

A MM. L'INSPECTEUR GÉNÉRAL DES POUDRES ET SALPÊTRES;
LES DIRECTEURS DES ÉTABLISSEMENTS DU SERVICE DES POUDRES ET SALPÊTRES.

Paris, le 26 octobre 1882.

Messieurs, en vue d'activer la constitution des approvisionnements du service de l'artillerie, la fabrication de nouveaux types de poudres de guerre à canon à trituration réduite sera dès à présent substituée, à titre d'essai, à celle des types réglementaires (1).

Les conditions de fabrication et de réception des nouvelles poudres sont détaillées dans deux notes jointes à la présente lettre collective.

En outre, la poudre à fusil dite F_3, dont le mode de fabrication est décrit dans une instruction également ci-jointe, sera substituée à la poudre F_1; les échantillons devront être formés ainsi qu'il est prescrit par l'instruction du 12 juillet 1881.

Les matières actuellement mises en fabrication, pour la confection de lots répondant aux conditions exigées jusqu'à ce jour, devront être utilisées pour l'achèvement de ces lots.

MM. les directeurs des poudreries nationales recevront très prochainement notification des nouvelles commandes de poudres de guerre qui leur sont attribuées et des délais dans lesquels ces commandes doivent être achevées; ils auront à m'adresser aussitôt des propositions en vue du développement d'installation que ces commandes pourront nécessiter.

Les mesures qui précèdent ont pour but de doubler la production des poudres de guerre, à dater du 1er novembre 1882.

Pour obtenir ce résultat, il importe que les ingénieurs des

(1) Voir ci-dessus, p. *22, et 1, 278.

poudres et salpêtres se consacrent exclusivement, toute affaire cessante, au travail de la fabrication, et je fais un nouvel appel à leur zèle et à leur dévouement pour l'entier accomplissement de la tâche qui leur incombe.

BILLOT.

NOTE A.

MODIFICATIONS AUX INSTRUCTIONS RÉGLEMENTAIRES

POUR LA FABRICATION DES POUDRES A CANON A TRITURATION RÉDUITE.

I. — Trituration binaire.

Faire un seul binaire, le *binaire soufre,* formé de 40^{kg} de soufre, de 60^{kg} de charbon, trituré de 4^{h} à 6^{h} avec gobilles de 12^{mm} à 15^{mm}.

1 tonne doit faire, en 24 heures, le binaire nécessaire pour 1600^{kg} de poudre au moins.

II. — Trituration sous les meules (1).

Adopter, pour le travail des meules, le procédé de fabrication de la poudre MC_{30}, soit :

Charge, 25^{kg};

Trituration des compositions neuves, 30 minutes, tout compris;

Repassage des compositions et des barbes, mélangées dans la proportion du rendement, 10 minutes, tout compris.

Éviter tout galetage et laisser les culots sur la piste.

Dans ces conditions, une paire de meules peut, toutes pertes de temps déduites, mettre en fabrication 425^{kg} de poudre par journée de 24 heures.

III. — Grenage préalable.

Grener les matières à $2^{mm},5$.

On emploiera de préférence la tonne grenoir, qui débite au moins 2000^{kg} de matière par jour, ce qui correspond à 1600^{kg} de grains.

IV. — Galetage.

Presser avec les cadres ordinaires (ou avec des cadres fort peu différents en épaisseur) :

Pour C_1, en galettes de 6^{mm} à 7^{mm} et la densité de 1,650 environ;
Pour SP_1, » $9^{mm},5$ à $10^{mm},5$ » 1,700 »

---

(1) Les pilons seront également employés pour cette opération, dans les conditions fixées pour la fabrication de la poudre à canon ordinaire.

de manière à obtenir, pour les grains lissés et terminés, des densités supérieures à 1,690 pour C_1 et à 1,740 pour SP_1.

1 presse ordinaire galette environ 2000kg par 24 heures, correspondant à une production de 1600kg de grains. On pourra, au besoin, augmenter les longueurs et largeurs des cadres, de façon à utiliser toute la surface du plateau, en vue d'accroître la production des presses.

V. — Grenage définitif.

Mettre en grains définitifs avec les appareils ordinaires.

Pour SP_1, le second couteau du Ripault peut être avantageusement remplacé par une paire de cylindres cannelés découpant en grains les bandes.

Les appareils de grenage seront, autant que possible, mus mécaniquement, afin de diminuer le nombre des ouvriers nécessaires à leur fonctionnement. On pourra, s'il reste une usine à meules non utilisée, y installer un appareil en prenant le mouvement sur l'arbre de couche.

VI. — Lissage.

Lisser le grain comme à l'ordinaire, de 12 heures à 16 heures au plus.

1 tonne de lissage, marchant 24 heures, fera une charge et demie environ, soit 800kg de grains.

VII. — Séchage et mélanges.

Sécher au taux d'humidité actuellement adopté.

Faire les mélanges.

VIII. — Épreuves de recette.

Les échantillons des lots formés seront envoyés, comme à l'ordinaire, à la commission centrale de réception des poudres, et les procès-verbaux de formation d'échantillon devront indiquer, pour chaque lot, le procédé spécial de fabrication qui aura été employé (poudre à trituration réduite, meules ou pilons).

Note B.

INSTRUCTION

SUR LA FABRICATION DE LA POUDRE A FUSIL DITE F_3.

I. — Dosage.

La poudre à fusil dite F_3 se compose, sur 100 parties, de :

Salpêtre.....	75
Soufre.....	10
Charbon.....	15 (préparé au rendement de 30 à 32 pour 100).

II. — Préparation des charges.

La charge d'une paire de meules est de 20^{kg}. Elle est mélangée dans les tines à la façon ordinaire et humectée à 8 ou 10 pour 100, selon la température et l'état de l'atmosphère.

III. — Trituration des compositions neuves sous les meules.

La trituration se fait sous les meules à la vitesse de 9 à 10 tours par minute.

Elle dure 3 heures, chargement et déchargement compris (1600 tours au minimum).

Vers la fin de l'opération l'humidité est maintenue entre 2 et 3 pour 100.

Ces compositions sont déchargées sans être galetées et mises de côté pour être mélangées aux poussiers.

IV. — Formation et concassage de la galette.

Les poussiers sont mélangés aux compositions dans la proportion du rendement, qui est de 35 à 40 pour 100 environ en grains secs. Ce mélange est arrosé de 2 à 3 pour 100 d'eau, selon qu'on y introduit des poussiers verts ou des poussiers secs.

Il est trituré une demi-heure sous les meules, galetage compris.

Le galetage s'opère en ralentissant les meules avant de les arrêter définitivement et leur laissant faire ainsi 4 à 5 tours à raison de 3 tours environ par minute.

La galette essorée de 24 à 48 heures, suivant la saison, est concassée comme d'habitude pour être portée au grenoir.

V. — Grenage.

Le grenage peut se faire soit au grenoir Lefebvre, tournant à 74 tours environ par minute, soit au grenoir à cylindres.

Dans les deux cas, les perces du grenage sont 1^{mm} et $1^{mm},8$.

VI. — Lissage.

Le lissage s'opère, autant que possible, dans une tonne à grand diamètre (dite *Laville*), à la vitesse de 10 à 12 tours à la minute; sa durée, qui ne doit pas être moindre que 15 heures, doit être réglée de manière à obtenir une densité gravimétrique entre 936^{gr} et 944^{gr} au nouveau gravimètre.

VII. — Séchage, époussetage, surégalisage et rendement.

Le séchage est fait sur les sécheries artificielles. Le ventilateur est mis en marche aussitôt que la sécherie est chargée et la vapeur est amenée progressivement, de façon que la poudre mette environ 3 heures à atteindre une température qui ne doit jamais dépasser 40°.

La durée du séchage est de 8 heures en moyenne.

Au moment du déchargement, la poudre ne doit pas avoir plus de 0,7 pour 100 d'humidité.

Le surégalisage est fait à la perce de $1^{mm},6$.

L'époussetage se fait d'abord sur un tamis à la perce de $0^{mm},9$; puis, pour enlever au grain les dernières traces de poussier, on fait passer la poudre dans une tonne grenoir de guerre, dont le guillaume est remplacé par une gaze de soie n° 1 (égalisoir de chasse extrafine). Cette tonne, mue à bras, à la vitesse de 15 à 18 tours par minute, est chargée de 8^{kg} de poudre; la durée de l'opération est de 8 à 12 minutes.

Le rendement final en grains secs est de 35 à 40 pour 100.

VIII. — Mélanges méthodiques.

Sur chaque lissée est prélevé un échantillon moyen, dont on prend la densité gravimétrique et la densité réelle, 24 heures au moins après la fin du séchage. On fait le mélange des lissées, de manière à obtenir une densité réelle minimum de 1,740 et une densité gravimétrique moyenne de 940 au nouveau gravimètre (soit entre 938 et 942).

IX. — Conditions de réception.

Le grain doit être net, dur et brillant; la poudre ne doit pas laisser des traces sensibles lorsqu'elle est agitée sur un papier blanc; elle ne doit pas émettre de poussier apparent lorsqu'on la verse du haut d'un vase dans un autre.

Sa densité gravimétrique doit être comprise entre 938 et 942 au nouveau gravimètre.

Sa densité réelle doit être au moins de 1,740.

Le nombre de ses grains, au gramme, doit être de 1000 environ, mais, en tous cas, ne doit pas dépasser 1200.

Elle doit avoir 1,20 pour 100 au plus d'humidité lorsqu'elle est soumise aux épreuves de tir, et la vitesse qu'elle doit fournir, à la charge de $5^{gr},20$ dans les cartouches mod. 1879, doit être comprise dans les mêmes limites que celles qu'on exige actuellement de la poudre F_1 à la charge de $5^{gr},25$.

Note C.

Tableau indiquant les nouvelles conditions de réception des poudres de gu

CARACTÈRES PHYSIQUES et propriétés balistiques.		ESPÈCES DE POUDRE F_2.	C_1.	SP_1.
Nombre de grains		Inférieur à 1200 (pour 1^{kg}).	Inférieur à 2000 (pour 1^{kg}).	Inférieur à 38 (pour 1^{kg}).
Épaisseur moyenne des grains		//	6^{mm} à 7^{mm}.	$9^{mm},5$ à $10^{mm},5$
Densité gravimétrique		0,938 à 0,942.	//	//
Densité réelle		Supérieure à 1,710.	Supérieure à 1,690.	Supérieure à 1,7
Humidité pour 100		Voisine de 1,10.	1,20 à 1,60.	1,20 à 1,80.
Épreuves balistiques	Éprouvette	Fusil modèle 1874. (cart. modèle 1879).	Canon de 90^{mm}.	Canon de 155^{m}
	Chargement	Poudre $5^{kg},20$. Humidité de la poudre inférieure à 1,20.	Réglementaire de guerre.	Poudre $8^{kg},75$. Projectile 40^{kg}
	Vitesse	$V_{25} = 435^{m}$ à 443^{m}.	$V_{35} = 446^{m}$ à 454^{m}.	$V_{50} = 449^{m}$ à 457
	Pressions	//	Inférieure à 2500^{kg}.	Inférieure à 2200

N° 34.

DÉCRET DU 28 OCTOBRE 1882,

Concernant la vente et le transport de la dynamite (1).

Le Président de la République française,

Vu la loi du 8 mars 1875 et le décret réglementaire du 24 août suivant (2) sur la dynamite;

Considérant qu'il y a lieu, dans l'intérêt de la sécurité publique, de compléter les mesures prescrites par la loi et le règlement susvisés concernant la conservation, la vente et le transport de la dynamite;

Décrète :

Article premier. — Toute personne qui voudra faire usage de dynamite ou de tout explosif à base de nitroglycérine devra, au

(1) *Journ. off.*, 29 oct. 1882. — *Bull. des lois*, 1882 : [12], **25**, 1250. — *Journ. milit.*, 1882 : part. régl., **2**, 314.

(2) *Bull.* 269, n° 4517.

préalable, adresser au préfet du département où se trouve le dépôt une déclaration écrite, visée par le maire de sa commune ou, à Paris, par le commissaire de police de son quartier.

ART. 2. — L'intéressé indiquera dans cette déclaration :

1° Ses nom, prénoms, domicile et profession;

2° La quantité de dynamite qu'il désire acheter;

3° L'usage qu'il se propose de faire de la dynamite, ainsi que le lieu précis où elle doit être employée et la date de cet emploi;

4° L'endroit où il la déposera jusqu'au moment de l'emploi;

5° La voie qui sera suivie pour le transport au dépôt provisoire, ainsi que le délai dans lequel ce transport sera effectué.

ART. 3. — Récépissé de cette déclaration sera notifié à l'intéressé. Avis en sera donné, sans délai, à l'ingénieur en chef des mines, chargé du service des mines, ou, à défaut, à l'ingénieur en chef du service ordinaire des ponts et chaussées du département.

Dans le cas où la dynamite devrait être transportée dans un département autre que celui où la déclaration aura été reçue, l'avis sera transmis au préfet de ce département.

ART. 4. — Les débitants autorisés ne délivreront de la dynamite, quelle que soit la quantité, que sur la production du récépissé de la déclaration à la préfecture. Ce récépissé sera visé par le débitant et renvoyé par lui, dans les 24 heures de la livraison, au préfet.

ART. 5. — La dynamite détenue par un particulier ne peut être conservée, en attendant son emploi, que pendant 8 jours au plus, à dater de sa réception, à moins d'une autorisation accordée dans les formes prévues par le décret du 24 août 1875 (art. 16).

ART. 6. — En cas d'autorisation, la dynamite sera emmagasinée dans un local fermé à clef. Les entrées et les sorties de dynamite seront inscrites sur un carnet. Les chiffres des entrées seront la reproduction exacte des acquits-à-caution.

ART. 7. — Les dépôts ne devront jamais contenir, en même temps que la dynamite, des poudres fulminantes, c'est-à-dire susceptibles de provoquer, par choc ou inflammation directe, une explosion.

ART. 8. — Le signataire de la déclara
ticle 1er ci-dessus est tenu de rendr
qu'il aura fait de la dynamite, 8 jours a
tion.

Le bulletin qu'il adressera à cet effet
la date et le lieu de l'emploi.

L'administration pourra toujours contrô
tions.

ART. 9. — Les cartouches-amorces ser
où il est fait usage de dynamite, confiées
maître, qui ne les remettra aux ouvriers
ploi.

ART. 10. — Un exemplaire du présent d
déclarant, en même temps que le récépiss
tion.

ART. 11. — Les personnes qui auront
seront tenues, outre les formalités auxque
ment soumises, de faire une déclaration au
lors de la réception, et de remplir toutes le
décret.

ART. 12. — Les contraventions aux disp
seront constatées par des procès-verbaux
compétents et punies des peines portées pa
8 mars 1875.

ART. 13. — Sera puni des mêmes peine
ou détenteur de dynamite en dehors des
présent décret.

ART. 14. — Dans la huitaine de promu
cret, tout détenteur, non débitant, de dyn
explosibles à base de nitroglycérine, sera t
ration au préfet du département de sa rési
indiquées à l'article 12.

ART. 15. — Les ministres de l'intérieur
nances, de la guerre, des travaux publics

chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret.

Fait à Paris, le 28 octobre 1882.

JULES GRÉVY.

Le ministre de l'intérieur et des cultes,
A. FALLIÈRES.

Le ministre de la guerre,
Gal BILLOT.

Le ministre des finances,
P. TIRARD.

Le ministre du commerce,
PIERRE LEGRAND.

Le ministre des travaux publics,
CH. HÉRISSON.

N° 35.

ARRÊTÉ MINISTÉRIEL DU 31 OCTOBRE 1882,

Rapportant un article du règlement du 10 janvier 1879, pour le transport de la dynamite par chemins de fer.

LES MINISTRES DES TRAVAUX PUBLICS, DE LA GUERRE ET DES FINANCES,

Vu les art. 21 et 66 de l'ordonnance du 15 novembre 1846 sur la police, la sûreté et l'exploitation des chemins de fer;

Vu le règlement du 10 janvier 1879, sur le transport de la dynamite par chemins de fer, rendu en exécution de la loi du 8 mars 1875 et du décret réglementaire du 24 août suivant;

Vu notamment l'art. 19 dudit règlement, aux termes duquel les conditions relatives au mode de transport des dynamites ne sont pas obligatoires pour les expéditions de 50kg, poids brut, et au-dessous;

Considérant que les expéditions de dynamite, même d'un faible poids, présentent un réel danger pour la sécurité publique;

ARRÊTENT :

ARTICLE PREMIER. — Est rapporté l'article 19 ci-dessus visé du règlement du 10 janvier 1879.

En conséquence, les diverses dispositions de ce règlement sont rendues applicables à toutes les expéditions de dynamite, quels qu'en soient le poids et la provenance (établissements de l'État ou fabriques de l'industrie privée).

ART. 2. — Le présent arrêté sera notifié aux compagnies de chemins de fer.

Il sera publié et affiché.

Les préfets, les fonctionnaires et agents du contrôle sont chargés d'en surveiller l'exécution.

Paris, le 31 octobre 1882.

Le ministre des travaux publics,
CH. HÉRISSON.

Le ministre de la guerre,
BILLOT.

Le ministre des finances,
P. TIRARD.

N° 36.

INSTRUCTION SUR LES CONDITIONS DE RÉCEPTION DU COTON-POUDRE FABRIQUÉ POUR LA MARINE.

(Extrait de la lettre collective n° 63).

LE MINISTRE DE LA GUERRE

A MM. L'INSPECTEUR GÉNÉRAL DES POUDRES ET SALPÊTRES,
LES DIRECTEURS DES ÉTABLISSEMENTS DU SERVICE DES POUDRES ET SALPÊTRES.

Paris, le 12 décembre 1882.

Messieurs, je vous adresse, ci-joint, un exemplaire de la nouvelle instruction, en date du 19 octobre 1882, sur les conditions de réception du coton-poudre fabriqué par le service des poudres et salpêtres pour le département de la marine, instruction qui remplace et annule celle du 26 juillet 1877.

BILLOT.

INSTRUCTION DU 19 OCTOBRE 1882

Sur les conditions de réception et le mode d'épreuve du coton-poudre destiné au département de la marine, fabriqué par le service des poudres et salpêtres.

(Remplace et annule l'instruction du 26 juillet 1877).

ARTICLE PREMIER.

Mode de livraison et de réception.

Le coton-poudre sera livré au département de la marine par lots qui recevront un numéro d'ordre pour chaque commande et par année; les numéros d'ordre suivront, pour une même année, la série naturelle des nombres en partant de 1. Les lots refusés conserveront leurs numéros.

Chaque livraison, composée d'un ou de plusieurs lots, donnera lieu à l'établissement d'un procès-verbal d'épreuve et de réception provisoire, dressé à l'usine, par une commission spéciale, formée d'au moins 3 ingénieurs ou agents de la poudrerie, désignés par le directeur, auxquels le ministre de la marine se réserve d'adjoindre, s'il le juge utile, un officier du service de l'artillerie de son département.

Ce procès-verbal sera établi sur état conforme au modèle joint et adressé au ministre de la marine qui prononcera la recette, ou fera procéder à une contre-épreuve s'il le juge utile.

Les échantillons nécessaires aux contre-épreuves seront, sur sa demande, remis au département de la marine ou expédiés au service chargé d'effectuer la contre-épreuve.

Les conditions, détaillées ci-après, sont applicables, tant aux épreuves faites à la poudrerie qu'aux contre-épreuves effectuées par les soins du département de la marine ou du service central des poudres et salpêtres.

Les lots présentés en recette ne seront expédiés qu'après avis de leur acceptation par le ministre de la marine.

En cas de désaccord entre les deux départements après épreuve et contre-épreuve, il en sera référé au comité consultatif des poudres et salpêtres.

ARTICLE 2.

Nature, formes et dimensions des gâteaux.

Le coton-poudre sera fabriqué par le procédé employé en Angleterre dans l'usine de Stowmarket, et connu sous le nom de *procédé Abel*, et sera livré comprimé en gâteaux des formes indiquées par le département de la marine.

On pourra faire usage, pour donner au coton-poudre la réaction alcaline exigée, soit du carbonate de soude, soit du carbonate de potasse.

Les dénominations, formes ou dimensions de gâteaux actuellement ré-

glementaires, sont indiquées par le tableau annexé au présent document, tableau qui mentionne également les tolérances. (*Annexe I.*)

Si de nouvelles formes ou dimensions sont demandées par le département de la marine, leur confection fera l'objet d'une entente nouvelle entre les deux départements et l'on déterminera, autant que possible, les tolérances à admettre pour cette fabrication, d'après les règles adoptées pour la fixation des tolérances indiquées au tableau, à savoir, en admettant une tolérance de 5 pour 100, en plus ou en moins, sur les dimensions prises perpendiculairement au plan de compression, et de 1,5 pour 100, en plus ou en moins, sur les dimensions prises parallèlement à ce plan.

Les trous d'amorces et rainures latérales pourront être forés ou obtenus par moulage.

ARTICLE 3.

Livraisons et encaissements.

Suivant le modèle des gâteaux, le coton-poudre sera livré, soit dans les caisses métalliques ou les cartouches métalliques fournies par le département de la marine et conformes aux types adoptés par ce département, soit dans des caisses en bois fournies par le service des poudres et salpêtres.

Ces dernières seront revêtues intérieurement d'un enduit hydrofuge formé de glu marine siccative.

Le coton-poudre sera humecté avant l'expédition.

Des bandes de papier goudronné seront collées sur les joints, si l'expédition est faite par voie de terre ou est adressée à un port autre que Brest.

Les caisses en bois auront les formes et les dimensions indiquées par la description annexée au présent document. (*Annexe II.*)

ARTICLE 4.

Nature des épreuves.

Les épreuves comprendront les mesures ou déterminations suivantes :

Examen physique et vérification des formes extérieures,
Mesure de la densité,
Épreuve d'humidité,
Épreuve d'incinération,
Épreuve de solubilité,
Épreuve d'alcalinité,
Épreuve de chaleur.

ARTICLE 5.

Prélèvement des échantillons pour les épreuves.

Le prélèvement des échantillons pour les épreuves se fera de la façon suivante, pour chaque livraison :

On ouvrira au hasard 1 caisse sur 20, et dans chacune de ces caisses on

prélèvera le $\frac{1}{6}$ environ des carreaux, disques ou cylindres qui la composent.

Tous les échantillons, ainsi prélevés, seront soumis aux mesures pour vérification des dimensions.

Ces mêmes échantillons serviront à opérer les épreuves d'humidité et de densité, ainsi que les épreuves d'incinération, de solubilité, d'alcalinité et de chaleur, lesquelles seront effectuées à raison d'une épreuve de chaque sorte par lot indivisible de 250^{kg} de chaque espèce de gâteaux de coton-poudre présenté en recette.

Ces règles seront applicables aux gâteaux pour torpilles automobiles, avec cette rectriction que les gâteaux d'une même cartouche seront considérés comme des gâteaux de même espèce pour le calcul du nombre des épreuves à faire.

Si les échantillons examinés ne satisfont pas aux conditions de formes et de dimensions, les lots dont ils proviennent seront retirés de la livraison, mais pourront être présentés de nouveau en recette après avoir été ramenés aux dimensions.

Il en sera de même pour les lots dont les échantillons ne présenteraient pas la densité voulue; ces échantillons pourront être présentés de nouveau en recette après avoir été soumis à un nouveau pressage.

Si des échantillons ne satisfont pas aux épreuves d'incinération, de solubilité, d'alcalinité et de chaleur, et sauf recours à une contre-épreuve s'il y a lieu, tous les gâteaux de même espèce, provenant de la même fabrication seront rebutés s'ils ne peuvent être ramenés dans les limites prescrites en les soumettant à un nouveau travail.

Article 6.

Examen physique. — Vérification des formes extérieures.

Les carreaux, disques ou cylindres, ne devront pas avoir de tendance à se fendre ni à s'ouvrir facilement.

Les arêtes seront légèrement adoucies.

Le coton-poudre devra être exempt de toute graine ou de toute portion de coton non converti.

On vérifiera les dimensions extérieures des carreaux et les diamètres extérieurs des disques et cylindres en les faisant passer dans des lunettes, ayant des dimensions égales aux dimensions réglementaires, augmentées ou diminuées des tolérances; les gâteaux ne devront pas passer dans les petites lunettes, et devront passer dans les grandes sous leur propre poids.

Les hauteurs des cylindres seront vérifiées au moyen de calibres. Les diamètres intérieurs seront vérifiés à l'aide de mandrins forts et faibles; les premiers devront passer librement, les autres ne devront pas pouvoir pénétrer par leur propre poids.

Pour la vérification des dimensions, le taux de l'humidité du coton-poudre sera ramené à 25 pour 100 environ.

ARTICLE 7.

Mesure de la densité.

La densité du coton-poudre sera au moins égale à l'unité.

Elle sera obtenue en divisant le poids du solide à l'état sec par son volume mesuré dans le même état. Ce volume sera déterminé par le calcul, en mesurant les dimensions convenables.

ARTICLE 8.

Épreuve d'humidité.

Les échantillons seront desséchés à l'étuve, à une température inférieure à 60°, et pesés de 3 heures en 3 heures jusqu'à ce que la perte de poids soit inférieure à $\frac{1}{2}$ pour 100 de leur poids. A ce moment, ils seront tous pesés séparément et le poids obtenu donnera pour chacun d'eux le poids à l'état sec qui doit servir à la mesure de la densité.

Les échantillons seront ensuite exposés pendant 2 heures à l'air libre, puis pesés de nouveau. Les nouveaux poids obtenus serviront à fixer le poids net de chaque gâteau, d'après lequel sera établie la quantité de coton-poudre servant à la fixation du prix de remboursement contenue dans le lot examiné.

ARTICLE 9.

Épreuve d'incinération.

On enlève par un léger grattage quelques grammes de coton-poudre dans la partie centrale du gâteau; on en pèse 2^{gr} que l'on place dans une capsule que l'on chauffe. A mesure que le coton-poudre devient sec, il s'enflamme et brûle. La combustion ne doit faire qu'un résidu inférieur en poids à $0^{gr},08$.

ARTICLE 10.

Épreuve de solubilité.

On enlève par un léger grattage environ 30^{gr} de coton-poudre dans la partie centrale du gâteau et on les place dans une coupe en verre, contenant à peu près 2^{lit} d'eau distillée, à la température de 50° C.; on les y laisse pendant 5 minutes environ, en les remuant de temps en temps; on filtre alors à travers un linge fin et l'on comprime aussi fort que possible avec la main. L'échantillon est ensuite replacé dans la coupe pour y subir un second lavage semblable au premier.

Après le second lavage, on le filtre à travers un linge fin et on le comprime entre plusieurs doubles de papier dans une presse à vis.

On le place alors sur une soucoupe en papier dans une étuve chauffée

à 100°. On l'y laisse 15 minutes, en ayant soin de remuer la soucoupe en papier, afin d'empêcher son contact prolongé avec l'étuve.

On l'expose à l'air pendant 2 heures. On place alors l'échantillon dans un grand vase bien sec, et l'on agite. On recueille ensuite avec une barbe de plume les minces particules qui s'y sont déposées.

On en pèse 3^{gr} pour chaque épreuve de solubilité et 1^{gr},3 pour chaque épreuve de chaleur, ainsi qu'il est dit plus loin.

On introduit les 3^{gr} prélevés pour l'épreuve de solubilité dans un petit ballon; on ajoute 100^{gr} d'un mélange liquide formé de 1 partie en poids d'alcool à 40° B. et de 2 parties d'éther rectifié.

Le ballon est fréquemment agité et on laisse digérer ensemble pendant 2 heures au moins. Le tout est ensuite versé sur un filtre de fine mousseline, et, quand le liquide s'est écoulé, le coton-poudre, enveloppé dans la mousseline, est soumis à une pression considérable, sous une presse à vis, entre deux couches de papier filtre.

L'échantillon est ensuite soigneusement replacé dans le ballon et soumis à un second traitement de dissolution, comme celui qui vient d'être décrit.

Le liquide est de nouveau expulsé, aussi complètement que possible, par voie de pression; le coton-poudre est ensuite étalé pour faciliter sa dessiccation. Il est séché dans une étuve à eau, à la manière ordinaire; et, quand il est sec, on l'expose à l'air, pendant 2 heures environ avant de le peser. La perte de poids donne la quantité de coton-poudre soluble qui a disparu.

Cette quantité ne doit pas être supérieure à 0^{gr},4.

Article 11.

Épreuve d'alcalinité.

On opère sur un échantillon de coton-poudre séché à l'air, très finement divisé et provenant du centre des gâteaux, dont on pèse exactement 2^{gr}.

On emploie la méthode dite *par voie humide*.

Les liqueurs types sont préparées de la manière suivante :

1° Un volume de 20^{cc} environ d'acide chlorhydrique, marquant 19° B., est étendu d'eau, de façon à former un volume de 1^{lit} exactement; ce mélange constitue la liqueur acide type.

2° On dissout 20^{gr} de carbonate de soude dans une petite quantité d'eau, puis on complète, avec le même liquide, le volume de 1^{lit} exactement; on obtient ainsi la liqueur alcaline type.

L'épreuve se fait alors comme suit :

On prélève sur la liqueur acide un volume de 10^{cc}, qu'on verse sur les 2^{gr} de coton-poudre. On laisse la réaction s'opérer pendant quelque temps, puis le liquide est décanté et le coton-poudre est lavé, soit par la décantation, soit sur un filtre, jusqu'à ce que les eaux de lavage ne présentent

plus de réaction acide, ce dont on est assuré quand elles ne se troublent plus par l'azotate d'argent.

Ces eaux de lavage sont réunies à la liqueur qui a servi à traiter le coton-poudre.

On prend alors de nouveau 10^{cc} de la liqueur acide qu'on étend au même volume et qui sert de liqueur témoin pour titrer la liqueur alcaline.

On verse dans la liqueur de traitement du coton et dans la liqueur témoin un même volume de teinture bleue de tournesol; puis, à l'aide d'une burette graduée en centimètres cubes, on détermine les volumes V et V', exprimés en centimètres cubes, de la solution alcaline type, nécessaires pour neutraliser l'acide contenu dans chacune des liqueurs.

V' — V est le nombre de centimètres cubes de la liqueur alcaline contenant un poids de carbonate de soude égal à celui qui se trouvait dans les 2^{gr} de coton-poudre.

1^{cc} de cette liqueur contenant $0^{gr},02$ de carbonate de soude, ce même nombre V' — V représentera, par suite, le nombre de grammes de carbonate de soude contenu dans 100^{gr} de coton-poudre, c'est-à-dire le taux pour 100 d'alcalinité.

Ce nombre devra toujours se trouver compris entre 2 et 4.

Article 12.

Épreuve de chaleur.

Cette épreuve a pour but de constater la rapidité d'altération du coton-poudre sous l'influence de la chaleur et de s'assurer de son identité avec le produit semblable fabriqué en Angleterre. Les résultats de l'épreuve pouvant être modifiés par des changements dans la manière d'opérer, il est indispensable de suivre exactement la marche adoptée en Angleterre.

Appareils nécessaires. — 1° Un vase sphérique, en verre, sans col, d'environ $0^{m},20$ de diamètre, rempli d'eau jusqu'à $0^{m},01$ au plus du bord supérieur, ayant un couvercle libre formé d'une feuille de fer-blanc ou de cuivre, repose sur un trépied disposé au-dessus d'une source de chaleur convenable (*fig.* 1).

Une toile métallique le protège contre l'action du foyer, qui est entouré, en outre, d'un écran ou manchon cylindrique.

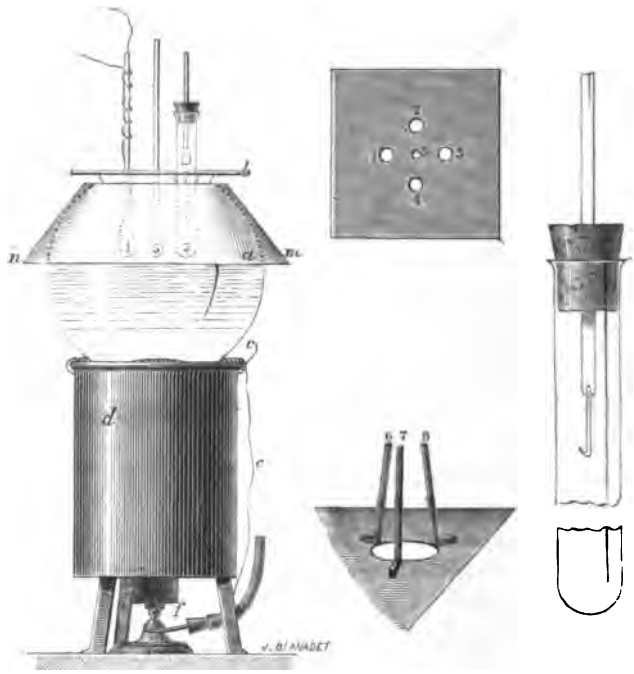
Le couvercle a 5 trous disposés comme le montre la figure ci-jointe. Le trou central reçoit un thermomètre, un deuxième trou reçoit un régulateur de température (1), le troisième trou un petit entonnoir, et les deux derniers les tubes d'épreuves contenant le coton-poudre à essayer.

(1) Le dessin représente un régulateur électrique de température, de Scheibler, employé en Angleterre. On fera avantageusement usage d'un régulateur Schlœsing ou d'Arsonval.

Autour de ces deux derniers trous, sur la face inférieure du couvercle, sont soudés trois bouts de fils de cuivre qui vont en se rapprochant légèrement vers le bas et, agissant comme ressorts, servent à soutenir les tubes d'épreuve à la hauteur que l'on désire.

La partie supérieure du vase est recouverte d'un abat-jour en papier gris commun.

Fig. 1.



2° Des tubes d'épreuve de $0^{m},015$ de diamètre environ et ayant au moins $0^{m},12$ de longueur.

3° Des bouchons s'ajustant sur l'ouverture de ces tubes et traversés par une mince baguette de verre, effilée à la lampe à l'extrémité inférieure et se terminant par un crochet en platine destiné à supporter le papier d'épreuve.

Préparation du papier d'épreuve. — Le papier d'épreuve est préparé comme suit : 3^{gr} d'amidon blanc sont additionnés de 250^{gr} d'eau, et le mélange est agité et chauffé jusqu'à l'ébullition.

1^{gr} d'iodure de potassium est dissous dans 250^{gr} d'eau.

Ces deux solutions différentes sont bien intimement mélangées.

On plonge dans le mélange ainsi préparé des morceaux ou des feuilles de papier filtre blanc ; puis on les fait égoutter et sécher.

Les dimensions usitées pour les morceaux de papier d'épreuve sont à peu près 12^{mm} sur 15^{mm}.

Le papier doit être conservé dans un flacon bien bouché.

Exécution de l'épreuve. — On prend une quantité de $1^{gr},3$ de coton-poudre lavé et bien sec, recueilli comme il a été dit pour l'épreuve de solubilité, on la place dans un tube d'épreuve, en la tassant légèrement, et l'on ferme le tube avec un bouchon librement ajusté.

L'eau étant parvenue à une température comprise entre 64°,5 et 65°,5 C. et maintenue à ce degré de chaleur (1), le tube est engagé dans le trou du couvercle et plongé dans l'eau chaude jusqu'à la profondeur de $0^{m},07$ environ.

On fixe au crochet de la baguette de verre un morceau de papier d'épreuve, de telle sorte qu'il prenne une position verticale quand on l'introduira dans le tube.

On applique à la partie supérieure de ce morceau de papier une goutte d'eau distillée contenant $\frac{1}{10}$ de glycérine pure; cette quantité doit suffire à mouiller seulement la moitié du papier.

Le premier bouchon est alors retiré du tube d'épreuve et remplacé par le bouchon portant la baguette et l'on maintient le papier d'épreuve aussi près que possible du haut du tube jusqu'à ce que le tube d'épreuve ait subi 5 à 6 minutes d'immersion.

Au bout de ce temps, un anneau de vapeur d'eau se dépose sur le tube d'épreuve un peu au-dessus du couvercle du bain; on doit alors abaisser la baguette de verre jusqu'à ce que la limite inférieure de la partie mouillée du papier soit au niveau du bas de l'anneau humide du tube.

On observe alors le papier attentivement.

L'épreuve est terminée quand une très faible coloration brune fait son apparition sur la ligne de démarcation entre la partie sèche et la partie mouillée du papier.

L'intervalle de temps, entre le premier moment où l'on plonge dans l'eau à 65° C. le tube contenant l'échantillon de coton-poudre et le moment où se produit la coloration brune du papier, est ce qui constitue l'épreuve. Cet intervalle doit être au minimum de 10 minutes.

---

(1) Le thermomètre doit plonger dans l'eau de $0^{m},08$ à $0^{m},10$ pour bien en indiquer la température.

ANNEXE 1.

Formes, dimensions et poids moyens des gâteaux de coton-poudre réglementaires.

DÉNOMINATIONS.	FORMES.	HAUTEUR.	TOLÉRANCE en plus ou en moins.	LARGEUR ou diamètre extérieur.	TOLÉRANCE en plus ou en moins.	DIAMÈTRE ou côté du vide intérieur.	TOLÉRANCE en plus ou en moins.	TOLÉRANCE sur l'excentricité du vide central	POIDS moyen sec pour une densité égale à 1,1.
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kg
Grands carreaux épais.....	Parallélépipède rectangle à base carrée.....	40	2	120	1,8	"	"	"	0,634
Grands carreaux minces.....	Parallélépipède rectangle à base carrée.....	20	1	120	1,8	"	"	"	0,317
Petits carreaux cubiques.....	Cube percé suivant l'axe.	40	2	40	0,6	7,8	"	"	0,070
Grands cylindres d'amorce...	Cylindre droit percé suivant l'axe avec rainure latérale se prolongeant suivant un rayon sur l'une de ses bases (1).	105	5	55	0,8	7,8	"	"	0,260
Petits cylindres d'amorce.....	Cylindre droit percé suivant l'axe avec rainure latérale se prolongeant suivant un rayon sur l'une de ses bases (1).	52,5	2,5	55	0,8	7,8	"	"	0,130
Cylindres d'amorce sans cannelure.	Cylindre droit percé sui-	50	2,5	54	1	7,0	0,1	1	0,143

Cylindres d'amorce (modèle 1881)	avec cannelure.....	vant l'axe avec une rainure latérale se prolongeant suivant un rayon sur l'une de ses bases (2).....	30	2,5	54	1	8,5	0,1	1	0,121 2,150
Disques évidés à évidement circulaire..		Cylindre droit évidé concentriquement (3)	44	2	24,5	4	5,8	1	"	
Secteurs pour disques évidés circulairement.....		Quart de cylindre droit évidé concentriquement.....	44	2	24,5	4	5,8	1	"	0,537
Secteurs pour disques pleins.....		Quart de cylindre droit sans évidement (3)....	40	2	33,5	5	"	"	"	0,970
Secteurs pour disques à évidement rectangulaire.....		Quart de cylindre droit évidé au centre suivant un carré (les plans diamétraux limitant les secteurs prolongent les diagonales de l'évidement) (3).....	40	2	33,5	5	83,5	1,5	"	0,896

(*Voir pour les gâteaux destinés aux chargement des torpilles automobiles l'instruction sur le chargement de ces torpilles du 7 mars* 1882.)

(1) Il ne sera plus fabriqué à l'avenir de cylindres de ce modèle.

(2) La section de la cannelure est formée par un arc de cercle de 8mm de rayon, sa profondeur est de 6mm et les arêtes sont abattues par des arcs de cercle de 2mm de rayon.

(3) Les dimensions indiquées sont celles du cylindre formé par l'assemblage des quatre secteurs; il sera admis une tolérance de 1 degré $\frac{1}{2}$ en plus ou en moins sur l'angle d'ouverture des secteurs.

Il peut être nécessaire, pour le chargement des torpilles qui présentent à l'intérieur des contre-plaques saillantes, d'abattre l'un des angles extérieurs de quelques secteurs, soit pleins, soit évidés.

Cette modification, qui peut enlever jusqu'à 25^{mm} de matiere suivant le rayon, et $\frac{1}{10}^{mm}$ suivant la circonférence à partir de l'angle primitif extérieur, ne devra pas être une cause de mise au rebut des disques qui l'auront suivie.

ANNEXE II.

Formes, dimensions et marques des caisses en bois pour emballage du coton-poudre.

Formes des caisses.

Les caisses d'emballage en bois pour les carreaux rectangulaires et celles pour les cylindres d'amorce sont les seules habituellement fournies par le service des poudres et salpêtres.

Les caisses en bois, primitivement adoptées pour l'emballage des disques et secteurs, ont été remplacées par des caisses métalliques (tracé du 10 septembre 1878 et rectifications du 20 décembre 1878) qui sont fournies par la marine.

Les caisses de transport pour cartouches de torpilles automobiles (Instruction du 7 mars 1882) sont fournies également par la marine, en même temps que les cartouches.

Les boîtes pour cylindres et charges d'armorce de coton-poudre sec sont fabriquées et remplies dans les ports par les soins des directions d'artillerie, afin d'éviter le transport du coton-poudre sec.

Ces caisses sont rectangulaires et ne diffèrent que par les dimensions.

Le couvercle, formé par l'une des longues faces, est fixé à l'aide de vis en cuivre; les côtés sont simplement cloués.

Les carreaux ou cylindres sont calés par bout et par le côté, au moyen de planchettes-cales, amincies en forme de coins, qui sont mises en place avant l'humectation, de façon à profiter de la dilatation produite par cette opération pour assurer l'immobilité du chargement.

Marques des caisses.

Toutes les caisses recevront par bout (*sur le couvercle pour les caisses pour disques évidés*) une inscription à la peinture noire, faisant connaître le nom de l'usine, la nature du contenu de la caisse, avec indication des dimensions des gâteaux en centimètres, le numéro du lot et le poids net.

Cette inscription sera disposée comme suit :

MOULIN-BLANC.

Coton-poudre,

20 G.-C. — 12/12/4.

2^{e} lot. — 1877.

Poids net :

On adoptera pour désigner le contenu des caisses les abréviations suivantes :

G.-C..... Grands carreaux.
P.-C..... Petits carreaux.
C.-A..... Cylindres d'amorces.
D.-E.-C.... Disques évidés circulairement.
D.-E.-R.... Disques évidés rectangulairement.
D.-P..... Disques pleins.

Contenance et mode d'encaissement.

DÉSIGNATION des caisses.	CONTENANCE.	MODE d'encaissement.	OBSERVATIONS.
Caisse en bois pour carreaux rectangulaires.....	20 grands carreaux épais, pesant secs environ 12^{kg},700...	1 rang de 5 carreaux couchés à plat au fond. 15 carreaux placés de champ par-dessus.	Maintenus par une grande cale placée en long sur le côté, et par une petite cale placée en travers à l'un des bouts.
	40 grands carreaux minces, pesant secs environ 12^{kg},700.	2 rangs de 5 carreaux couchés à plat au fond. 30 carreaux placés de champ par-dessus.	
	180 petits carreaux cubiques, pesant secs environ 12^{kg},700.	4 couches de 45 carreaux, comprenant chacune 3 carreaux en largeur et 15 en longeur.	
Caisse en bois pour cylindres d'amorce....	30 grands cylindres pesant secs environ 7^{kg},800.	1 couche formée de 30 cylindres placés debout, sur 10 de longueur et 3 de largeur.	Maintenues par une grande cale placée en long sur le côté, et par une petite cale placée en travers à l'un des bouts.
	60 demi-cylindres, pesant secs environ 7^{kg},800.	2 couches formées chacune de 30 cylindres placés debout, sur 10 de longueur et 3 de largeur.	

Dimensions moyennes des caisses en bois.

DÉSIGNATION des caisses.	ÉPAISSEUR du bois.		DIMENSIONS intérieures.			DIMENSIONS extérieures.		
	Côté.	Fond et couvercle.	Longueur.	Largeur.	Hauteur.	Longueur.	Largeur.	Hauteur.
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Caisse pour carreaux.	20	20	630	130	170	670	170	210
Caisse pour cylindres.	20	20	570	180	120	610	220	160

Tolérances et dimensions extrêmes.

DÉSIGNATION des caisses.	TOLÉRANCES en plus ou en moins sur				DIMENSIONS EXTÉRIEURES EXTRÊMES résultant des tolérances.					
	l'épaisseur.	la longueur.	la largeur.	la hauteur.	LONGUEUR maxima.	LONGUEUR minima.	LARGEUR maxima.	LARGEUR minima.	HAUTEUR maxima.	HAUTEUR minima.
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Caisse pour carreaux.	1	5	2	2	675	665	172	168	212	208
Caisse pour cylindres.	1	5	2	2	615	605	222	218	162	158

Dimensions des cales.

DÉSIGNATION DES CALES.		LONGUEUR.	LARGEUR ou hauteur.	ÉPAISSEUR plus forte.	ÉPAISSEUR plus faible.
		mm	mm	mm	mm
Cales de caisses pour carreaux.	Cales longues de côté.....	610	150	de 20 à 10	de 15 à 5
	Cales courtes de bout.....	110	150	id.	id.
Cales de caisses pour cylindres d'amorce.....	Cales longues de côté.....	550	100	id.	id.
	Cales courtes de bout.....	160	100	id.	id.

Nota. — On emploiera des cales d'épaisseur variable, de façon à pouvoir tenir compte des variations d'épaisseur des gâteaux et des variations de dimensions des caisses.

ANNEXE III.

Modèle de procès-verbal d'épreuve.

MINISTÈRE DE LA GUERRE.

Service des Poudres et Salpêtres.

POUDRERIE DU PONT-DE-BUIS.

Fabrique de coton-poudre du Moulin-Blanc.

ÉPREUVE DE COTON-POUDRE

FABRIQUÉ POUR LE SERVICE DE LA MARINE.

Épreuve faite le _____ _____

par la Commission spéciale composée de

MM.

LIVRAISON COMPOSÉE DES LOTS SUIVANTS :

_ ___ . *lot de* _____ *de la commande du* _____, *comprenant :*

(Numéros des lots. — Dates des commandes. — Nombre, espèce et signalement des caisses. — Poids net du coton-poudre de chaque espèce déduit des épreuves.)

Examen des formes extérieures.

NATURE des gâteaux.	NOMBRE de gâteaux vérifiés.	NOMBRE de gâteaux rebutés pour défauts de forme.	PROPORTION pour 100 des rebuts.	NOMBRE DE REBUTS par nature.				OBSERVATIONS.

Mesures de densité et d'humidité.

NATURE et numéros d'ordre des échantillons.	POIDS des échantillons desséchés à l'étuve.	DIMENSIONS mesurées.			VOLUME calculé.	DENSITÉ.	POIDS des échantillons desséchés puis abandonnés à l'air.	POIDS net moyen par espèce d'échantillon.	OBSERVATIONS

Épreuves d'incinération, de solubilité, d'alcalinité et de chaleur.

NATURE et numéros d'ordre des échantillons.	ÉPREUVE d'incinération. — Poids du résidu. — (Limite supérieure admise $0^{gr},08$ sur 2^{gr}.)	ÉPREUVE de solubilité. — Perte de poids. — (Limite supérieure admise $0^{gr},4$ sur 3^{gr}.)	ÉPREUVE d'alcalinité. — Proportion du carbonate. — (Limites admises de 2 à 4.)	ÉPREUVE de chaleur. — Durée de l'épreuve. — (Limite inférieure admise 10^{m}.)	OBSERVATIONS.

COMPARAISON AVEC LES TYPES ET OBSERVATIONS SUR LES PARTICULARITÉS DES ÉPREUVES.

Avis de la commission.

Moulin-Blanc, le 18

Les Membres de la commission.

Paris, le 14 octobre 1882.

Le général de brigade,
chef du service technique,

DARD.

Approuvé :

Paris, le 19 octobre 1882.

Le vice-amiral,
ministre de la marine et des colonies,

JAURÉGUIBERRY.

N° 37.

DÉCRET DU 30 DÉCEMBRE 1882,

QUI AUTORISE LE MINISTRE DES FINANCES A FIXER ANNUELLEMENT LE PRIX DE VENTE DES POUDRES DE COMMERCE EXTÉRIEUR (1).

LE PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE,

Sur le rapport du ministre des finances;

Vu la loi du 16 mars 1819, qui confère au pouvoir exécutif la faculté de déterminer, eu égard au prix de revient, le prix de vente de la poudre de commerce extérieur;

Vu le décret du 8 mai 1873 (2), qui a autorisé le ministre des finances à fixer les prix de vente de cette poudre entre les limites de 1fr et de 1fr,30 le kilogramme;

Considérant que l'abaissement du prix de revient permet de modifier les limites fixées par le décret sus-visé;

Considérant que, les prix de revient étant établis annuellement par le ministre de la guerre, le maintien de la concordance, entre ces prix et les prix de vente, exige que ces derniers soient de même fixés annuellement;

Vu les dépêches du ministre de la guerre, en date du 15 octobre 1881 et du 12 octobre 1882,

DÉCRÈTE :

ARTICLE PREMIER. — Le ministre des finances est autorisé à fixer annuellement, après entente avec le ministre de la guerre, les prix de vente des poudres de commerce extérieur, entre les limites de 70fr et de 100fr les 100kg.

Ces prix s'appliquent aux poudres contenues dans les barils d'une contenance supérieure à 9kg et comprenant la valeur de l'emballage.

ART. 2. — Les poudres pourront être livrées en barillets d'une contenance égale ou inférieure à 9kg; dans ce cas, les plus-values à payer par 100kg seront fixées par le ministre des finances, de concert avec le ministre de la guerre (3).

---

(1) *Journ. off.* 9 janv. 1883. — *Bull. des Lois* 1882 : [12] **25** 1634.

(2) *Bull.* 133, n° 2048.

(3) Voir ci-dessus, p. *70.

ART. 3. — Le décret du 8 mai 1873 est abrogé.

ART. 4. — Les ministres des finances et de la guerre sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret qui sera inséré au *Journal officiel* et au *Bulletin des Lois*.

Fait à Paris, le 30 décembre 1882.

JULES GRÉVY.

Le ministre des finances,

P. TIRARD.

FIN DE LA DEUXIÈME PARTIE.

TABLE ANALYTIQUE.

Pages.

Sommaire du tome II..... V

PREMIÈRE PARTIE.

DOCUMENTS TECHNIQUES.

Commission des substances explosives. — Étude des propriétés explosives du fulminate de mercure; par M. BERTHELOT, sénateur, membre de l'Institut, président de la commission des substances explosives, et M. VIEILLE, ingénieur des poudres et salpêtres [20 mars 1884]..... 3

Gaz dégagés..... 5

Chaleur produite..... 6

Chaleur de formation..... 6

Densité..... 7

Tensions développées en vase clos..... 7

Commission des substances explosives. — Rapport sur l'étude des propriétés du sulfure d'azote [5 mai 1881]..... 10

Préparation..... 10

Stabilité..... 11

Sensibilité au choc et à l'échauffement..... 11

Densité..... 12

Chaleur de détonation..... 12

Volume des gaz..... 12

Analyse des gaz..... 12

Équation de décomposition..... 13

Chaleur de formation du sulfure d'azote depuis ses éléments..... 13

Tension en vase clos..... 13

Commission des substances explosives.—Rapport sommaire sur l'étude des poudres au picrate d'ammoniaque; par M. H. LAMBERT, ingénieur en chef des poudres et salpêtres [2 mars 1882]..... 15

Dosage..... 15

§ I. FABRICATION PAR SIMPLE MÉLANGE..... 16

Tir dans le canon de 90^{mm}..... 17

Tir dans le canon de 155^{mm}..... 18

§ II. FABRICATION PAR LES MEULES..... 18

Poudre triturée aux meules, grains de $\frac{50}{50}$..... 19

Tir dans le canon de 24^{cm}, mod. 1870 M..... 20

§ III. CONCLUSIONS..... 20

Pages.

Note sur l'hydrocellulose et sur le composé nitré qui en dérive; par M. VIEILLE, ingénieur des poudres et salpêtres [8 avril 1879]..... 21

I. Hydrocellulose..... 21
Préparation..... 21
Première méthode..... 22
Seconde méthode..... 23

II. Hydrocellulose nitrée..... 25
Préparation..... 25
Rendement..... 26
Aspect..... 26
Action de la chaleur..... 27
Action du choc..... 28
Pressions en vase clos..... 28
Chaleur de combustion; volume des gaz produits..... 28
Résumé..... 33

Nitrocellulose granulée..... 34

Nitrocellulose comprimée..... 34

III. Conclusion..... 35

Commission des substances explosives.—Rapport n° 1 sur les tubes et cordeaux détonants [juillet 1879]..... 36

EMPLOI DES CORDEAUX DÉTONANTS CHARGÉS DE COTON-POUDRE..... 36

CHAP. I. — FABRICATION DES TUBES ET CORDEAUX DÉTONANTS..... 39

§ I. Difficultés d'étirage de tubes en plomb chargés de coton-poudre ordinaire..... 39
§ II. Emploi du coton-poudre à l'hydrocellulose... 40
§ III. Préparation de la nitrocellulose ou coton-poudre à l'hydrocellulose..... 41
§ IV. Choix et chargement des tubes en plomb destinés à l'étirage..... 42
§ V. Étirage..... 43
§ VI. Détails de l'étirage..... 45
§ VII. Emhobinage..... 46
§ VIII. Tressage des tubes..... 47
§ IX. Mode de fermeture des tubes..... 48
§ X. Maniement. — Transport..... 48

CHAP. II. — MODE D'EMPLOI DES TUBES ET CORDEAUX DÉTONANTS..... 49

§ I. Manière de provoquer la détonation d'un tube ou d'un cordeau..... 49
§ II. Effets de la détonation d'un tube isolé..... 50
§ III. Raccordement des tubes..... 52
§ IV. Vitesse de transmission de la détonation 53
§ V. Combustion des tubes détonants..... 54
§ VI. Effets des chocs..... 55

Pages.

§ VII. Bifurcation des tubes détonants..... 56
§ VIII. Ramifications simultanées de tubes détonants. 58

CHAP. III. — EMPLOI DES TUBES DÉTONANTS POUR PROVOQUER L'EXPLOSION DE CHARGES DIVERSES..... 61

§ I. Transmission du feu à des charges de poudre. 61
§ II. Transmission de la détonation à des charges de coton-poudre..... 61
§ III. Transmission de la détonation à des charges de dynamite..... 62
§ IV. Transmissions en cascades..... 63
§ V. Ramifications par relais chargés de coton-poudre ou de dynamite..... 64

CHAP. IV. — EXEMPLES D'APPLICATION DES TUBES DÉTONANTS, COMPARAISON AVEC LES AUTRES MODES DE MISE DE FEU..... 66

§ I. Exemples d'application..... 66
§ II. Comparaison avec les autres modes de mise de feu..... 67

I. Mèches instantanées..... 67
II. Mise de feu électrique..... 69

CONCLUSIONS..... 71

ANNEXE A. — NOTE SOMMAIRE SUR LES PROPRIÉTÉS ET L'EMPLOI DES TUBES ET CORDEAUX DÉTONANTS (3 juillet 1879)..... 73

I. Mode de fabrication..... 73
II. Propriétés..... 74
III. Maniement et transport..... 75
IV. Effets d'inflammation..... 75
V. Effets des chocs..... 76
VI. Mode d'emploi. — Amorçage..... 77
VII. Effets de la détonation d'un tube ou d'un cordeau isolé..... 78
VIII. Ramifications simples des tubes ou cordeaux détonants..... 79
IX. Ramifications multiples des tubes ou cordeaux détonants..... 80
X. Transmission du feu à des charges de poudre..... 81
XI. Transmission du feu à des capsules fulminantes. — Relais à capsules..... 82
XII. Transmission de la détonation à des charges de coton-poudre. — Relais au coton-poudre..... 83
XIII. Transmission de la détonation à des charges de dynamite. — Relais à dynamite..... 84
XIV. Transmission en cascade à des charges de coton-poudre ou de dynamite..... 85
XV. Organisation de dispositifs de mise à feu..... 85

ANNEXE B. — NOTE SUR LES RACCORDS ET ACCESSOIRES EMPLOYÉS POUR LE SERVICE DES TUBES DÉTONANTS, DE 4^{mm} DE DIAMÈTRE, CHARGÉS DE PYROXYLE PULVÉRULENT..... 88

I. Manchons d'assemblage..... 88
II. Coiffes de bouts de tubes..... 90

Pages.

Analyse volumétrique des gaz 146
a. Coton-poudre pur 147
Analyse des produits gazeux 147
TABLEAU IX 148
Dosage de l'eau 148
Analyse des résidus solides 148
Analyse pondérale des produits de la décomposition du coton-poudre 149
TABLEAU X 149
b. Coton-poudre au nitrate de potasse 150
TABLEAU XI 150
c. Coton-poudre au nitrate d'ammoniaque 150
TABLEAU XII 150
d. Nitroglycérine 151
TABLEAU XIII 151
e. Nitromannite 151
f. Picrate de potasse 151
Analyse des gaz 152
TABLEAU XIV 152
Analyse du résidu solide 152
TABLEAU XV 152
g. Poudre de mine ordinaire française 153
TABLEAU XVI 153
II. — Analyse des gaz produits sous des pressions voisines de la pression atmosphérique 153
TABLEAU XVII 153
TABLEAU XVIII 154
CHAP. IV. — RÉSUMÉ 155
a. Coton-poudre de guerre 155
Formule du coton-poudre 155
Formules de décomposition 156
TABLEAU XIX 156
b. Celluloses azotiques diverses 157
1° Coton azotique à collodion 158
2° Cellulose faiblement nitrée 158
c. Coton-poudre au nitrate de potasse 159
d. Coton-poudre au nitrate d'ammoniaque 160
e. Nitroglycérine 161
f. Nitromannite 161
g. Picrate de potasse 162
Composition des gaz 162
Résidu solide 163
h. Poudre de mine 163
Influence de la détonation sur la nature des produits de

Pages.

la décomposition des explosifs 164

CHAP. V. — CONCLUSIONS PRATIQUES 165

TABLEAU XX 166

Volume des gaz (litres) par kilogramme de la substance (détonation) 166

TABLEAU XXI 166

Volume des gaz (litres) par kilogramme de la substance (ratés de détonation) 166

Commission des substances explosives. — Rapport n° 3 sur l'emploi du coton-poudre sec pour les opérations de guerre [18 mars 1880].. 168

EXAMEN D'OBSERVATIONS RELATIVES AU DANGER QUE PEUT PRÉSENTER L'EMPLOI DU COTON-POUDRE SEC POUR LES OPÉRATIONS MILITAIRES... 168

I. EMPLOI DU COTON-POUDRE SEC 169

II. EMPLOI DU COTON-POUDRE PARAFFINÉ 172

III. AMORÇAGE DIRECT DU COTON-POUDRE HUMIDE 173

Commission des substances explosives. — Rapport n° 28. Recherche d'un nouvel explosif pour les usages militaires [1er février 1883] ... 174

ANNEXE. Observations faites au département de la Marine sur la conservation du coton-poudre comprimé fabriqué par le procédé Abel [18 mars 1880] 184

Note sur l'emploi des moules en caoutchouc pour le grenage des poudres; par MM. HAGRON et BRULEY, ingénieurs des poudres et salpêtres [8 février 1883] 186

§ I. MOULES ET CHASSIS 188

I. Moules 189

II. Châssis 189

§ II. MODE D'EMPLOI 190

§ III. EXPÉRIENCES COMPARATIVES 192

I. Régularité des produits obtenus 192

A. Poudres moulées au caoutchouc 193

B. Poudre obtenue par le découpage d'une galette lisse 200

C. Comparaison des résultats 204

II. Qualités balistiques des poudres obtenues 205

III. Commodité et sécurité du procédé 206

IV. Influence du procédé sur le prix de revient de la poudre 206

A. Main-d'œuvre 207

B. Frais généraux 207

C. Intérêts des capitaux engagés 208

§ IV. POUDRES DIVERSES 208

I. Poudre cubique de $0^m,050$ 209

II. Poudres parallélépipédiques percées 209

III. Poudres prismatiques percées 210

Pages

IV. Poudres progressives 210
§ V. Résumé et conclusions 211

Recherches sur la nitrification du coton; par M. Vieille, ingénieur des poudres et salpêtres [18 septembre 1883] 212

I. Première méthode de nitrification 212

Conditions du trempage 212
Taux de nitrification 213
Détermination du maximum de nitrification 215
Nature des réactions; vitesse des réactions 215
Discontinuités dans la marche de la nitrification 216

II. Seconde méthode de nitrification 217
III. Limite supérieure du degré de nitrification 220
IV. Celluloses incomplètement nitrifiées 221
V. Résumé et conclusions 222

Composition et formule des celluloses nitrées 222
Propriétés des celluloses nitrées 224

Note sur la détermination du taux d'azote par le procédé Schlœsing. 225

De l'emploi des explosifs en agriculture (dynamite, coton-poudre, poudre de mine); par M. Coutagne, ingénieur des poudres et salpêtres [février 1883] 227

Rapport sur les travaux exécutés, en novembre et décembre 1882, chez M^me^ la duchesse de Fitz-James, dans le domaine de Saint-Antonin, près d'Aix, en Provence 227

§ I. Organisation des travaux 228
§ II. Résultats obtenus 230
I. Sommet du Cengle 230
a. Silex compact, etc 230
b. Calcaire siliceux compact 230
II. Coteaux exposés au midi, entre les Masques et Bayle. 231
c. Calcaire tendre 232
d. Poudingue quartzeux 232
e. Calcaire siliceux 233
§ III. Comparaison des explosifs 233
§ IV. Résumé et conclusions 239

Sur les moyens de réduire les accroissements momentanés de vitesse dans les machines munies de régulateurs à action indirecte. Application aux machines à poudre; par M. A. Bérard, ingénieur en chef des poudres et salpêtres, et M. H. Léauté, répétiteur de l'École Polytechnique, ingénieur des manufactures de l'État [31 décembre 1887] .. 242

Chap. I. — Conditions d'établissement d'un appareil de régulation a action indirecte. — dispositif permettant de les réaliser 246

Détermination du degré d'isochronisme 250
Détermination de la vitesse relative du vannage 251

Pages.

Détermination de la puissance de l'appareil à boules... 255

CHAP. II. — APPLICATION A UN EXEMPLE..... 258

Observations pratiques..... 265

Moyens de réglage..... 266

1° Degré d'isochronisme..... 267

2° Vitesse relative du vannage..... 268

3° Vitesse moyenne de l'appareil à boules..... 268

Disposition particulière permettant de modifier le degré d'isochronisme sans changer la course du manchon.. 269

Dispositifs de sûreté..... 270

CHAP. III. — RÉDUCTION DES ACCROISSEMENTS MOMENTANÉS DE VITESSE.... 271

CHAP. IV. — APPLICATION A UN GROUPE D'USINES A POUDRE..... 285

CHAP. V. — DONNÉES ET FORMULES RELATIVES AUX APPAREILS A FORCE CENTRIFUGE..... 289

APPENDICE. — NOTE I. Sur la mesure expérimentale de la quantité A.. 298

1° Période pendant laquelle la vanne se ferme..... 299

2° Période de fermeture complète..... 301

NOTE II. Sur la condition de non-oscillations dans les appareils à fermeture rapide..... 303

NOTE III. Sur le calcul des variations momentanées de vitesse..... 312

Rapport sur les procédés actuels de raffinage et de fabrication du salpêtre à la raffinerie de Bordeaux; par M. BIFFE, ingénieur en chef des poudres et salpêtres [1er juillet 1888]..... 316

§ I. TRANSFORMATION DE L'OUTILLAGE..... 317

§ II. DESCRIPTION DES OPÉRATIONS..... 318

I. Raffinage du salpêtre..... 318

Séchage..... 320

II. Fabrication du salpêtre..... 322

Chaudières de fabrication..... 322

Détail des opérations..... 322

Cristallisation..... 323

Lavage des sels..... 323

§ III. AVANTAGES DES NOUVEAUX APPAREILS..... 324

Deuxième note sur la fabrication de poudres à canon à trituration très réduite; par M. H. LAMBERT, ingénieur en chef des poudres et salpêtres, et M. BARRAL, ingénieur des poudres et salpêtres [16 juin 1883]..... 326

§ I. PROCÉDÉS DE FABRICATION..... 327

I. Poudres non triturées sous les meules (procédé des tonnes et presses)..... 327

Dosage..... 327

Binaire..... 327

Ternaire..... 327

Préparation des matières pour les presses. Mouillage..... 327

Pages.

II. Poudres à trituration très réduite sous les meules..... 330

Dosage..... 330
Binaires..... 330
Préparation des matières pour les meules..... 330

§ II. Résultats balistiques..... 332

I. Tirs de Sevran..... 332

a. Poudres C_1 (canon de 90^{mm})..... 332
b. Poudres SP_1 (canon de 155^{mm})..... 333
c. Poudres SP_2 (canon de 16^{cm}, mod. 1870)..... 333

II. Tirs de la commission de Versailles..... 334

a. Poudres C_1 (canon de 90^{mm})..... 334
b. Poudres SP_1 (canon de 155^{mm})..... 334
Canon de 24^{cm}, mod. 1870..... 334

§ III. Conclusions..... 335

Note relative à l'influence du rapprochement moléculaire sur l'équilibre chimique de systèmes gazeux homogènes, par M. Sarrau, ingénieur en chef des poudres et salpêtres, et M. Vieille, ingénieur des poudres et salpêtres [31 décembre 1887]..... 337

Note sur la transmission par câble télédynamique continu, par M. A. Bérard, ingénieur en chef des poudres et salpêtres [30 septembre 1888]..... 341

Note sur un phénomène mécanique observé à la poudrerie de Saint-Médard, par M. H. Léauté, répétiteur à l'École polytechnique, ingénieur des manufactures de l'État [1er octobre 1888]..... 346

Commission des substances explosives, sous-commission spéciale. — Rapport sur l'étude des questions relatives à l'emploi des explosifs en présence du grisou..... 355

Historique..... 355
Commission française du grisou..... 355
Commission anglaise..... 356
Commission prussienne..... 358
Commission saxonne..... 364
Commission autrichienne..... 365
Rôle des poussières de houille..... 367
Commission instituée par M. le ministre des travaux publics..... 368

Chap. I. — Description des appareils et des procédés d'expérimentation..... 370

Appareil de production de formène..... 371
Chaudière d'expérience..... 373
Exécution d'une expérience..... 376
Nature du gaz employé..... 378

Chap. II. — Explosifs librement suspendus au milieu des mélanges grisouteux..... 379

I. Amorces..... 379

Pages.

II. Explosifs déjà connus..... 379

Poudre de mine..... 381
Dynamites n° 1 de Vonges et n° 0 de Paulilles..... 381
Dynamite à l'ammoniaque de Paulilles..... 381
Coton-poudre..... 381
Dynamite-gomme et dynamite-gélatine..... 382
Helhoffite..... 383
Explosif Favier..... 383
Bellite..... 384
Cotons-poudres à l'azotate de baryte..... 385
Poudre pyroxylée du Moulin-Blanc..... 385

III. Recherche d'explosifs nouveaux n'allumant pas le grisou..... 386

Dynamite et carbonate de soude cristallisé..... 386
Dynamite et sulfate de soude cristallisé..... 386
Dynamite et alun ammoniacal..... 386
Dynamite et chlorhydrate d'ammoniaque..... 387
Dynamite et poussière de houille..... 387
Dynamite et poussière de lignite de couleur brune (Braunkokle). 388
Dynamite et azote d'ammoniaque..... 388
Coton-poudre et chlorhydrate d'ammoniaque..... 389
Coton-poudre et azotate d'ammoniaque..... 389

IV. Recherches théoriques..... 390

Mode d'inflammation spécial des mélanges grisouteux..... 390
Température de détonation des explosifs.— Formules qui permettent de la calculer..... 391
Pression développée par les explosifs. — Formules qui permettent de la calculer..... 394
Comparaison des pressions théoriques avec les pressions expérimentales..... 395

V. Étude expérimentale du mode de détonation des explosifs à l'air libre..... 397

Détonation incomplète des explosifs à l'air libre..... 397
Procédé d'expérimentation..... 398
Résultat expérimental pour la dynamite. Elle détone à peu près complètement à l'air libre..... 399
Résultats expérimentaux pour divers explosifs..... 401
Phénomène particulier présenté par les cotons peu nitrés détonant à l'air libre..... 403
Explication des phénomènes présentés par les mélanges de coton-poudre et d'azotate de baryte. — Poudre pyroxylée..... 405
Force des explosifs..... 406
Influence possible, sur l'inflammabilité du grisou, de la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air..... 407

Résumé..... 407

CHAP. III. — EXPLOSIFS DÉTONANT EN VASE CLOS..... 409

Procédés d'expérimentation..... 410
Résultats expérimentaux..... 410

Pages.

Explication de l'effet produit, au point de vue de l'inflammation du grisou, par le tube qui enveloppe l'explosif. — Travail développé par la projection des parois du tube. 411
Température apparente d'inflammation des mélanges de grisou et d'air sous l'influence des gaz provenant de la détonation des explosifs..... 413
Détonation au milieu de l'eau 414
Variation du travail développé par les gaz de l'explosion avec la densité de chargement..... 414
Mode de détonation des divers explosifs en vase clos. Recherches expérimentales 418
Effet produit par les explosifs bourrés dans un trou et allumés par la mèche. 420
Résumé. — Règle générale pour l'emploi des explosifs dans une mine à grisou..... 421

CHAP. IV. — MODE D'ALLUMAGE DES COUPS DE MINE..... 421

Amorces renforcées et non renforcées. Différence de leurs effets sur l'inflammation du grisou. Explication. 421
Amorces diverses..... 422
Dangers que présente la mèche Bickford 422
Emploi de l'électricité..... 423
Cordeaux détonants..... 423
Amorces de frictions 424

CHAP. V. — CONCLUSIONS 425

TABLEAU RÉSUMÉ DES EXPÉRIENCES FAITES A LA POUDRERIE DE SEVRAN-LIVRY [de novembre 1887 à juin 1888]..... 428

I. Amorces..... 428
II. Cartouches nues..... 429
A. Explosifs déjà connus..... 429
B. Mélanges divers..... 433
a. Mélanges à base de dynamite..... 433
b. Mélanges à base de fulminate..... 434
III. Cartouches enveloppées..... 436
IV. Expériences sur les cartouches Settle..... 438
V. Expériences sur les poussières de houille 439
Expériences de détonation dans la chaudière close..... 440

NOTE A. — NOTE THÉORIQUE SUR LE CALCUL DES TEMPÉRATURES DE DÉTONATION ET LA FORCE DES EXPLOSIFS; par MM. MALLARD et LE CHATELIER. 442

Calcul théorique de la température de détonation 442
Formule de Clausius. — Covolumes..... 443
Calcul de la force explosive..... 444
Mode de décomposition d'un explosif..... 445
Mode de décomposition des celluloses nitrées..... 447
Tableau des températures de détonation et des forces explosives de divers explosifs..... 450

Pa

Comparaison, avec l'expérience, des pressions calculées et des pressions expérimentalement déterminées..... 1
Conséquences relatives à la loi du covolume et à la valeur de ce coefficient..... 1
Conséquences relatives à la variation, avec la température et la pression, des chaleurs spécifiques des gaz condensés..... 1
Conséquences relatives à la réalité de la variation, avec la température de la chaleur spécifique des gaz simples ou non condensés... 1
Conséquences relatives au taux d'accroissement, avec la température, de la chaleur spécifique moléculaire des gaz simples ou non condensés..... 1

NOTE B. — SUR LA QUANTITÉ DE CHALEUR QUI PEUT ÊTRE TRANSFORMÉE EN TRAVAIL PAR LA DÉTENTE ADIABATIQUE D'UN GAZ; par MM. MALLARD et LE CHATELIER..... 1

Commission des substances explosives, sous-commission spéciale. — Rapport supplémentaire sur l'étude des questions relatives à l'emploi des explosifs en présence du grisou [8 novembre 1888]..... 1

I. EXPLOSIFS EN PRÉSENCE DE MÉLANGES D'AIR ET DE GAZ D'ÉCLAIRAGE..... 4

II. INFLUENCE DE LA VAPEUR D'EAU SUR L'INFLAMMABILITÉ DES MÉLANGES GRISOUTEUX..... 4

III. ÉTUDE SUR LE MODE DE DÉTONATION DES EXPLOSIFS..... 4

Procédés expérimentaux..... 4

Détonation à l'air libre..... 4
Détonation dans des vases résistants..... 4

Recherches expérimentales..... 4

1° Explosifs simples..... 4
2° Explosifs binaires..... 4

Premier cas. — Gaz de la détonation ne pouvant pas réagir mutuellement..... 4

Mélanges de dynamite et d'azotate d'ammoniaque..... 4
1° Détonation à l'air libre..... 4
2° Détonation dans des vases résistants..... 4
Mélanges divers..... 4

Second cas. — Gaz de la détonation pouvant réagir mutuellement..... 4

Détonation à l'air libre..... 4
Mélange de coton octonitrique et d'azotate d'ammoniaque..... 4
Mélanges de binitrobenzine et d'azotate d'ammoniaque..... 4
Mélanges de picrate et d'azotate d'ammoniaque..... 4
Mélanges divers..... 4
Résumé..... 4
Détonation dans un vase massif et résistant..... 4

RECHERCHE DES EXPLOSIFS PRÉSENTANT DES GARANTIES SUFFISANTES DE SÉCURITÉ..... 4

Mélanges de deux substances comburantes..... 4

Mélanges de dynamite et d'azotate d'ammoniaque..... 4

Mélanges formés d'une substance comburante et d'une substance

Pages.

combustible..... 489

Mélanges de coton nitré et d'azotate d'ammoniaque..... 490

Mélanges de binitrobenzine et d'azotate d'ammoniaque..... 491

Mélanges de mononitronaphtaline et d'azotate d'ammoniaque..... 492

Mélanges de naphtaline et d'azotate d'ammoniaque..... 493

Mélanges de goudron de houille et d'azote d'ammoniaque..... 495

Mélanges d'huiles lourdes de goudron avec l'azotate d'ammoniaque 495

Mélanges de colophane et d'azotate d'ammoniaque..... 495

Mélanges de picrate d'ammoniaque et d'azotate d'ammoniaque..... 496

Mélanges d'azotate de cuivre ammoniacal et d'azotate d'ammoniaque..... 497

CONCLUSIONS..... 502

TABLEAU RÉSUMÉ DES EXPÉRIENCES FAITES A LA POUDRERIE DE SEVRAN-LIVRY [de juin à octobre 1888]..... 507

A. Expériences faites au milieu de gaz combustibles..... 507

B. Expériences de détonation dans la chaudière close et ne contenant que de l'air..... 513

Expériences sur le tir des fusils de chasse; par M. le capitaine JOURNÉE, instructeur à l'École normale de tir du camp de Châlons..... 519

CHAP. I. — RENSEIGNEMENTS SUR LES ARMES ET LES PLOMBS DE CHASSE. 519

I. Calibre des fusils..... 519

II. Échelle des numéros de plomb suivant la grosseur.. 520

III. Déformation des grains de plomb..... 520

CHAP. II. — VITESSE DES PLOMBS..... 521

I. Méthode pour mesurer la vitesse du plomb de chasse..... 521

II. Influence de la nature de la poudre sur la vitesse. 523

III. Variation de la vitesse avec le poids de la charge de poudre superfine..... 524

IV. Tassage de la poudre..... 526

V. Différence de vitesse entre un canon lisse et un canon choke-bored..... 526

VI. Longueur de l'âme..... 527

VII. Influence de l'étui de la cartouche..... 527

VIII. Influence de la bourre..... 528

IX. Influence de la grosseur des grains de plomb..... 528

X. Sertissage du plomb..... 529

XI. Influence du poids de la charge de plomb..... 529

XII. Influence de la température..... 529

XIII. Vitesse individuelle des plombs..... 529

CHAP. III. — VITESSES RESTANTES AUX DIFFÉRENTES DISTANCES..... 530

CHAP. IV. — PUISSANCE MEURTRIÈRE DES PLOMBS..... 533

Vitesse de recul..... 535

CHAP. V. — PORTÉE EXTRÊME DES FUSILS DE CHASSE..... 536

CHAP. VI. — DU CHARGEMENT DES CARTOUCHES..... 538

Pages.

CHAP. VII. — DISPERSION DU TIR A PLOMB ET DIMENSIONS DES GERBES... 539
I. Utilité d'une gerbe ouverte..... 540
II. Forme de la gerbe..... 540
III. Variation de la dispersion avec la distance..... 541
IV. Mode d'opérer pour apprécier la dispersion du tir d'un fusil ou d'une espèce de cartouche..... 542
V. Influence des éléments du chargement sur la dispersion des plombs..... 542
VI. Influence de la déformation des grains sur la dispersion du tir..... 544
VII. Agglomération des grains de plomb et procédés particuliers de tir de la grenaille..... 545
VIII. Influence de l'arme sur la dispersion. Canons choke-bored ou à étranglement..... 546
IX. Expériences diverses sur les canons à étranglement..... 547
X. Pente de raccordement de la chambre et du canon. 550
XI. Influence de l'état intérieur des canons..... 550
XII. Tir du plomb de chasse dans les armes rayées..... 550
XIII. Tir à balle dans les fusils de chasse..... 551

CHAP. VIII. — RÉGLAGE DES FUSILS..... 552
I. Convergence des canons..... 552
II. Angle de mire..... 553
III. Variation du réglage avec la charge de poudre... 553
IV. Causes des variations dans le réglage..... 555
V. Hausse corrigeant le défaut de réglage en hauteur.. 556

CHAP. IX. — I. Corrections de pointage..... 558
II. Cas où la correction de pointage est utile..... 558
III. Correction de pointage pour tenir compte de la vitesse du but..... 559
IV. Correction de pointage pour tenir compte de l'éloignement du but..... 562
V. Correction de pointage pour tenir compte de l'effet du vent..... 563

CHAP. X. — ÉCARTS PERSONNELS DES TIREURS..... 564

CHAP. XI. — NOMBRE DE GRAINS DE PLOMB QUI FRAPPERONT UNE PIÈCE DE GIBIER DANS UN TIR COMPLÈTEMENT RÉGLÉ..... 565

CHAP. XII. — PROCÉDÉS POUR POUVOIR TUER DE LOIN..... 570
I. Armes tirant le plomb en mitraille..... 570
II. Propositions en vue du tir à très longue portée.... 571

Commission des substances explosives. — Comptes rendus des travaux de la commission des substances explosives (1883-1888)..... 573

§ I. RAPPORT GÉNÉRAL SUR LES TRAVAUX EXÉCUTÉS PENDANT L'ANNÉE 1883..... 573

Pages.

I. Analyse des rapports établis dans l'année 1883..... 573

Rapport n° 28. — Sur la recherche d'un nouvel explosif pour les usages militaires. 573

Rapport n° 29. — Sur la demande d'autorisation formulée par M. Levallois, à l'effet de fabriquer, vendre et transporter les explosifs dits *panclastites*, inventés par M. Eugène Turpin..... 575

Rapport n° 30. — Sur la mesure de la force explosive du coton-poudre par la détermination des quantités de chaleur et l'analyse des gaz produits..... 577

Rapport n° 31. — Sur l'étude de la panclastite..... 577

Rapport n° 32. — Sur une demande d'avis concernant les propriétés explosives du coton azotique de Paulilles..... 579

Modifications dans l'organisation intérieure de la Commission..... 580

Observations générales au sujet des demandes d'autorisation pour la fabrication de nouveaux explosifs..... 580

II. Revue des travaux en cours d'exécution..... 581

Étude n° 1. — Recherches d'un procédé d'épreuve des propriétés explosives du coton-poudre..... 581

Étude n° 2. — Emploi du coton-poudre aux opérations de guerre..... 582

Étude n° 3. — Emploi du coton-poudre dans les mines..... 583

Étude n° 4. — Étude des tubes détonants..... 584

Étude n° 6. — Étude de l'action du camphre et des produits analogues sur les composés explosifs azotés..... 585

Étude n° 8. — Étude du coton-poudre paraffiné..... 586

Étude n° 16. — Étude du fulmi-son..... 587

Étude n° 23. — Étude des poudres au picrate d'ammoniaque..... 587

Étude n° 25. — Examen d'une demande d'autorisation concernant l'adjonction d'un dépôt de capsules fulminantes au dépôt de dynamite installé dans la redoute de Montreuil..... 589

Étude n° 29. — Étude de la panclastite..... 589

Étude n° 32. — Étude de la grenadine et poudre Gacon..... 590

Étude n° 36. — Recherche d'un nouvel explosif pour les usages militaires... 590

Étude n° 37. — Étude des dangers de transport des poudres, amorces et munitions..... 591

Étude n° 39. — Étude de la pyronitrine..... 591

Étude n° 40. — Étude d'une nouvelle poudre à double effet, à base de goudron. 592

Annexe. — Changements survenus dans le personnel de la commission pendant l'année 1883..... 592

§ II. Rapport général sur les travaux exécutés pendant l'année 1884..... 594

I. Analyse des rapports établis pendant l'année 1884..... 594

Rapport n° 33. — Sur l'étude du fulmi-son..... 594

Rapport n° 34. — Sur l'étude de la pyronitrine..... 595

Rapport n° 35. — Sur l'étude des poudres chloratées de M. Pellier (Alix)..... 595

Rapport n° 36. — Sur l'étude de la grenadine et des poudres Gacon..... 596

Rapport n° 37. Sur l'étude des dangers de transport des poudres, amorces et munitions..... 597

Rapport n° 38. — Sur l'étude des poudres à double effet, à base de goudron, proposées par M. Turpin..... 600

Pages.

II. Revue des travaux en cours d'exécution..... 600

Étude n° 1. — Recherche d'un procédé d'épreuves des propriétés explosives du coton-poudre..... 602

Étude n° 2. — Emploi du coton-poudre aux opérations de guerre..... 602

Étude n° 3. — Emploi du coton-poudre dans les mines..... 603

Étude n° 4. — Études des tubes détonants..... 603

Étude n° 6. — Action du camphre sur les composés explosifs azotés..... 605

Étude n° 7. — Étude de la nitromannite..... 605

Étude n° 8. — Étude du coton-poudre paraffiné..... 605

Étude n° 23. — Étude des poudres au picrate d'ammoniaque..... 606

Étude n° 29. — Étude de la panclastite..... 606

Étude n° 35. — Étude de la stabilité du coton-poudre en râpures..... 607

Étude n° 36. — Recherche d'un nouvel explosif de guerre..... 607

Étude n° 40 — Étudu d'une nouvelle poudre à double effet, à base de goudron. 608

Étude n° 42 — Étude de la poudre des mineurs..... 608

Étude n° 43. — Étude de la poudre Vril..... 608

Étude n° 44. — Mesure de la vitesse de transmission de la détonation dans les explosifs..... 609

Étude n° 45. — Recherche d'un cordeau détonant souple..... 609

Étude n° 46. — Appareils exploseurs divers proposés par M. Turpin..... 610

Étude n° 47. — Étude de la dynamite-paille..... 610

Étude n° 48. — Étude des poudres au nitrophénol..... 610

Annexe. — Changements survenus dans le personnel de la commission pendant l'année 1884..... 611

§ III. Rapport général sur les travaux exécutés pendant l'année 1885..... 612

I. Analyse des rapports établis pendant l'année 1885..... 612

Rapport n° 39. — Sur l'étude de la question des applications de la panclastite aux usages militaires..... 612

Rapport n° 40. — Sur l'étude d'une nouvelle poudre, dite *poudre des mineurs*. 613

Rapport n° 41. — Sur l'étude d'appareils exploseurs divers proposés par M. Turpin. 614

Rapport n° 42. — Sur l'étude d'une nouvelle substance explosive dite *lithotrite*. 615

Rapport n° 43. — Sur l'étude d'un nouvel explosif présenté par M. Domergue... 616

Rapport n° 44. — Sur les observations présentées par les Compagnies de chemins de fer, au sujet du transport des amorces et munitions de chasse..... 617

II. Revue des travaux en cours d'exécution..... 619

Étude n° 1. — Recherche d'un procédé d'épreuve des propriétés explosives du coton-poudre..... 619

Étude n° 2 B. — Emploi du coton-poudre humide aux opérations de guerre.... 619

Étude n° 3. — Emploi du coton-poudre dans les mines..... 619

Étude n° 4. — Étude des tubes détonants..... 620

Étude n° 8. — Étude du coton-poudre paraffiné..... 620

Étude n° 23. — Étude des poudres au picrate d'ammoniaque..... 621

Étude n° 29. — Étude de la panclastite..... 621

Étude n° 35. — Étude de la stabilité du coton-poudre en râpures..... 621

Étude n° 36. — Recherche d'un nouvel explosif de guerre..... 622

Étude n° 42. — Étude de la poudre des mineurs..... 622

Étude n° 43. — Étude de la poudre Vril..... 622

Pages.

Étude n° 44. — Vitesse de propagation de la détonation dans les explosifs..... 623
Étude n° 45. — Recherche d'un cordeau détonant souple..... 623
Étude n° 46. — Appareils exploseurs divers proposés par M. Turpin..... 624
Étude n° 47. — Étude de la dynamite-paille..... 624
Étude n° 48. — Étude des poudres au nitrophénol..... 624
Étude n° 49. — Pétard de coton-poudre pour la cavalerie..... 625
Étude n° 51. — Étude de la lithotrite..... 625
Étude n° 53. — Étude d'un nouvel explosif proposé par M. Domergue..... 625
Étude n° 55. — Mesure de la force des explosifs par le cintrage de plaques métalliques..... 626
Étude n° 56. — Mesure de la force des explosifs par l'emboutissage à distance de plaques métalliques..... 626
Annexe. — Changements survenus dans le personnel de la commission pendant l'année 1885..... 627
§ IV. Rapport général sur les travaux exécutés pendant l'année 1886..... 628
I. Analyse des rapports établis pendant l'année 1886..... 628
Rapport n° 45. — Sur l'étude d'une nouvelle poudre proposée par M. E. Le Maréchal..... 628
Rapport n° 46. — Sur l'étude de la poudre Vril..... 629
Rapport n° 47. — Sur l'étude des poudres progressives à base de combustibles actifs et nitrés, dérivés de la série aromatique..... 630
Rapport n° 48. — Sur la fixation des poids des colis renfermant des munitions pour armes portatives..... 631
II. Revue des travaux effectués pendant l'année 1886..... 632
Étude n° 1. — Recherche d'un procédé d'épreuve des propriétés explosives du coton-poudre..... 633
Étude n° 3. — Emploi du coton-poudre dans les mines..... 633
Étude n° 5. — Étude comparative des effets des chocs sur les composés explosifs azotés..... 634
Étude n° 7. — Étude de la nitromannite..... 634
Étude n° 35. — Étude sur la stabilité du coton-poudre en râpures..... 634
Étude n° 36. — Recherche d'un nouvel explosif de guerre..... 635
Étude n° 37. — Étude des dangers de transport des poudres, amorces et munitions. 635
Étude n° 43. — Étude de la poudre Vril..... 635
Étude n° 44. — Mesure de la vitesse de propagation de la détonation dans les explosifs..... 635
Étude n° 48. — Étude des poudres au nitrophenol..... 636
Étude n° 55. — Mesure de la force explosive par le cintrage au contact des plaques métalliques..... 636
Étude n° 56. — Mesure de la force explosive par l'emboutissage à distance des plaques métalliques..... 637
Étude n° 57. — Étude d'un nouvel explosif appelé *romite*..... 637
Étude n° 59. — Étude des explosifs Favier..... 637
Étude n° 60. — Étude d'un nouvel explosif de M. Pellier..... 638
Annexe. — Changements survenus dans le personnel de la commission pendant l'année 1886..... 638
§ V. Rapport général sur les travaux exécutés pendant l'année 1887. 639
I. Analyse des rapports établis pendant l'année 1887..... 640

Pages.

Rapport n° 49. — Sur l'étude d'un nouvel explosif de M. Pellier (Alix)..... 640
Rapport n° 50. — Sur l'étude des explosifs Favier..... 641
Rapport n° 51. — Sur l'étude de la poudre vulcanienne... 642

II. Revue des travaux effectués pendant l'année 1887..... 643

Étude n° 1. — Recherche d'un procédé d'épreuve des propriétés explosives du coton-poudre..... 643
Étude n° 7. — Étude de la nitromannite..... 643
Étude n° 35. — Étude de la stabilité du coton-poudre en râpures..... 644
Étude n° 44. — Mesure de la vitesse de transmission de la détonation dans les explosifs..... 644
Étude n° 57. — Étude de la romite..... 644
Étude n° 59. — Étude des explosifs Favier..... 645
Étude n° 60. — Étude d'un nouvel explosif de M. Pellier (Alix)..... 645
Étude n° 63. — Étude des poudres Johnson..... 646
Étude n° 66. — Étude des questions relatives à l'emploi des explosifs en présence du grisou..... 646
Étude n° 67. — Étude de la poudre vulcanienne..... 646
Étude n° 69. — Examen d'un absorbant pour la dynamite. 646

Annexe. — Changements survenus dans le personnel de la commission pendant l'année 1887..... 647

§ VI. Rapport général sur les travaux exécutés pendant l'année 1888..... 648

I. Analyse des rapports établis pendant l'année 1888..... 648

Rapport n° 52. — Sur l'étude de la pyroxylite..... 648
Rapport n° 53. — Sur l'examen d'un absorbant pour la dynamite..... 648
Rapport n° 55. — Sur l'étude des questions relatives à l'emploi des explosifs en présence du grisou..... 650
Rapport n° 56. — Sur l'étude de la romite terrestre..... 652
Rapport n° 57. — Sur l'étude de la bellite..... 653
Rapport n° 58. — Sur l'examen des résultats des essais de cordeaux détonants par les écoles du Génie..... 654
Rapport n° 59. — Sur l'étude des moyens à employer pour la destruction des voies ferrées étrangères..... 654
Rapport n° 60. — Sur l'étude des questions relatives à l'emploi des explosifs en présence du grisou..... 655
Rapport n° 61. — Sur l'étude de la tribénite..... 655
Rapport n° 62. — Sur l'étude de l'inexplosible Cahuc..... 656

II. Revue des travaux effectués pendant l'année 1888..... 657

Étude n° 1. — Recherche d'un procédé d'épreuve des propriétés explosives du coton-poudre..... 657
Étude n° 1 C. — Mesure de la force explosive par l'écrasement de cylindres métalliques..... 657
Étude n° 1 D. — Mesure de la force explosive par la détonation au contact des plaques métalliques..... 657
Étude n° 2 A. — Mode d'emploi de la dynamite aux opérations de guerre..... 658
Étude n° 2 B. — Mode d'emploi du coton-poudre humide aux opérations de guerre. 658
Étude n° 3. — Emploi du coton-poudre dans les mines..... 658
Étude n° 4. — Étude des tubes détonants au coton-poudre et à l'amidon-poudre. 658

Pages.

Étude n° 44. — Vitesse de propagation de la détonation dans les explosifs..... 623
Étude n° 45. — Recherche d'un cordeau détonant souple..... 623
Étude n° 46. — Appareils exploseurs divers proposés par M. Turpin..... 624
Étude n° 47. — Étude de la dynamite-paille..... 624
Étude n° 48. — Étude des poudres au nitrophénol..... 624
Étude n° 49. — Pétard de coton-poudre pour la cavalerie..... 625
Étude n° 51. — Étude de la lithotrite..... 625
Étude n° 53. — Étude d'un nouvel explosif proposé par M. Domergue..... 625
Étude n° 55. — Mesure de la force des explosifs par le cintrage de plaques métalliques..... 626
Étude n° 56. — Mesure de la force des explosifs par l'emboutissage à distance de plaques métalliques..... 626
Annexe. — Changements survenus dans le personnel de la commission pendant l'année 1885..... 627
§ IV. Rapport général sur les travaux exécutés pendant l'année 1886..... 628
I. Analyse des rapports établis pendant l'année 1886..... 628
Rapport n° 45. — Sur l'étude d'une nouvelle poudre proposée par M. E. Le Maréchal..... 628
Rapport n° 46. — Sur l'étude de la poudre Vril..... 629
Rapport n° 47. — Sur l'étude des poudres progressives à base de combustibles actifs et nitrés, dérivés de la série aromatique..... 630
Rapport n° 48. — Sur la fixation des poids des colis renfermant des munitions pour armes portatives..... 631
II. Revue des travaux effectués pendant l'année 1886..... 632
Étude n° 1. — Recherche d'un procédé d'épreuve des propriétés explosives du coton-poudre..... 633
Étude n° 3. — Emploi du coton-poudre dans les mines..... 633
Étude n° 5. — Étude comparative des effets des chocs sur les composés explosifs azotés..... 634
Étude n° 7. — Étude de la nitromannite..... 634
Étude n° 35. — Étude sur la stabilité du coton-poudre en rapures..... 634
Étude n° 36. — Recherche d'un nouvel explosif de guerre..... 635
Étude n° 37. — Étude des dangers de transport des poudres, amorces et munitions. 635
Étude n° 43. — Étude de la poudre Vril..... 635
Étude n° 44. — Mesure de la vitesse de propagation de la détonation dans les explosifs..... 635
Étude n° 48. — Étude des poudres au nitrophénol..... 636
Étude n° 55. — Mesure de la force explosive par le cintrage au contact des plaques métalliques..... 636
Étude n° 56. — Mesure de la force explosive par l'emboutissage à distance des plaques métalliques..... 637
Étude n° 57. — Étude d'un nouvel explosif appelé *romite*..... 637
Étude n° 59. — Étude des explosifs Favier..... 637
Étude n° 60. — Étude d'un nouvel explosif de M. Pellier..... 638
Annexe. — Changements survenus dans le personnel de la commission pendant l'année 1886..... 638
§ V. Rapport général sur les travaux exécutés pendant l'année 1887. 639
I. Analyse des rapports établis pendant l'année 1887..... 640

RAPPORT N° 49. — Sur l'étude d'un nouvel explosif d
RAPPORT N° 50. — Sur l'étude des explosifs Favier...
RAPPORT N° 51. — Sur l'étude de la poudre vulcanier

II. Revue des travaux effectués pendant l'ann

ÉTUDE N° 1. — Recherche d'un procédé d'épreuve
coton-poudre.....
ÉTUDE N° 7. — Étude de la nitromannite.....
ÉTUDE N° 25. — Étude de la stabilité du coton-poud
ÉTUDE N° 44. — Mesure de la vitesse de transmission
plosifs.....
ÉTUDE N° 57. — Étude de la romite.....
ÉTUDE N° 59. — Étude des explosifs Favier.....
ÉTUDE N° 60. — Étude d'un nouvel explosif de M. Pel
ÉTUDE N° 63. — Étude des poudres Johnson.....
ÉTUDE N° 66. — Étude des questions relatives à l'empl
du grisou.....
ÉTUDE N° 67. — Étude de la poudre vulcanienne....
ÉTUDE N° 69. — Examen d'un absorbant pour la dynam

ANNEXE. — Changements survenus dan
commission pendant l'ann

§ VI. RAPPORT GÉNÉRAL SUR LES TRAVAUX EXÉCU
1888.....

I. Analyse des rapports établis pendant l'anné

RAPPORT N° 52. — Sur l'étude de la pyroxylite.....
RAPPORT N° 53. — Sur l'examen d'un absorbant pour la
RAPPORT N° 55. — Sur l'étude des questions relatives à l
sence du grisou.....
RAPPORT N° 56. — Sur l'étude de la romite terrestre..
RAPPORT N° 57. — Sur l'étude de la bellite.....
RAPPORT N° 58. — Sur l'examen des résultats des essais
les écoles du Génie.....
RAPPORT N° 59. — Sur l'étude des moyens à employer p
ferrées étrangères.....
RAPPORT N° 60. — Sur l'étude des questions relatives à
présence du grisou.....
RAPPORT N° 61. — Sur l'étude de la tribénite.....
RAPPORT N° 62. — Sur l'étude de l'inexplosible Cahuc..

II. Revue des travaux effectués pendant l'année

ÉTUDE N° 1. — Recherche d'un procédé d'épreuve des p
ton-poudre.....
ÉTUDE N° 1 C. — Mesure de la force explosive par l'écra
liques.....
ÉTUDE N° 1 D. — Mesure de la force explosive par la dé
ques métalliques.....
ÉTUDE N° 2 A. — Mode d'emploi de la dynamite aux opéra
ÉTUDE N° 2 B. — Mode d'emploi du coton-poudre humide
ÉTUDE N° 3. — Emploi du coton-poudre dans les mines
ÉTUDE N° 4. — Étude des tubes détonants au coton-pou

Pages.

N° 25. — Explosion survenue le 18 février 1882, dans les usines n^os 26, 25 et 25' de la poudrerie de Saint-Chamas (Lettre collective n° 38 du 17 juillet 1882)..... *45

N° 26. — Inflammation de bois pyroxylé survenue le 8 avril 1882, au séchoir du Moulin-Blanc (Lettre collective n° 39 du 18 juillet 1882)..... *53

N° 27. — Explosion survenue le 22 avril 1882, dans le grenoir a retour n° 120 de la poudrerie du Ripault (Lettre collective n° 40 du 18 juillet 1882).. .... *56

N° 28. — Mesure des densités gravimétriques de poudres a fusil (Lettre collective n° 45 du 11 août 1882)..... *61

N° 29. — Explosion survenue le 29 juillet 1882, dans l'usine a meules n° 9 *bis* de la poudrerie de Vonges (Lettre collective n° 46 du 20 août 1882) *63

N° 30. — Dispositions relatives a la dynamite industrielle (Lettre collective n° 48 du 27 août 1882)..... *68

N° 31. — Nouvelles conditions de recette des poudres $A\frac{13}{20}$ (Lettre collective n° 51 du 18 septembre 1882)..... *69

N° 32. — Abaissement du prix de vente des poudres de commerce extérieur (Lettre collective n° 55 du 12 octobre 1882)..... *70

Instruction sur la fabrication des poudres de commerce extérieur (24 mai 1882)..... *74

N° 33. — Fabrication des poudres a canon a trituration réduite (Lettre collective n° 57 du 26 octobre 1882).. ..... *78

Note A. — Modifications aux instructions réglementaires pour la fabrication des poudres à canon à trituration réduite *79

Note B. — Instruction sur la fabrication de la poudre à fusil dite F_2..... *80

Note C. — Tableau indiquant les nouvelles conditions de réception des poudres de guerre..... *83

N° 34. — Décret du 28 octobre 1882, concernant la vente et le transport de la dynamite..... *83

N° 35. — Arrêté ministériel du 31 octobre 1882, rapportant un article du règlement du 10 janvier 1879 pour le transport de la dynamite par chemins de fer *86

N° 36. — Instruction du 19 octobre 1882 sur les conditions de réception du coton-poudre fabriqué pour la Marine *87

N° 37. — Décret du 30 décembre 1882, qui autorise le Ministre des Finances a fixer annuellement le prix de vente des poudres de commerce extérieur..... *104

TABLE ALPHABÉTIQUE.

(On a marqué en **caractères gras** les noms d'anteurs, et en PETITES CAPITALES les titres complets des articles et documents, en *italiques* toutes les autres indications.)

ABAISSEMENT DU PRIX DE VENTE DES POUDRES DE COMMERCE EXTÉRIEUR : *70.
Accroissements momentanés de vitesse : régulateurs à action indirecte, 242.
Agriculture : emploi des explosifs, 227.
Angoulême : explosion, *41.

Barral : v. Lambert et Barral.
Bérard : Note sur les transmissions par câble télédynamique continu, 341; — v. Bérard et Léauté.
Bérard et Léauté : Sur les moyens de réduire les accroissements momentanés de vitesse dans les machines munies de régulateurs à action indirecte, application aux usines à poudre, 242.
Berthelot et Vieille : Étude des propriétés explosives du fulminate de mercure, 3; — Rapport sur l'étude des propriétés du sulfure d'azote, 10.
Biffe : Rapport sur les procédés actuels de raffinage et de fabrication du salpêtre à la raffinerie de Bordeaux, 316.
Bordeaux (*Raffinerie de*) : 316.
Bruley : v. Hagron et Bruley.

Câble télédynamique continu : transmissions, 341, 346.
Caisses à poudre de chasse : composition, *6.
Canon (*Poudres à*) : v. Poudres à canon.
Chasse (*Caisses à poudre de*) : composition, *6.
Chasse (*Fusils de*) : tir, 519.
Chasse (*Poudres de*) : pyroxylées, *24.
CIRCULAIRE DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE TEMPÉRANCE (25 janvier 1882) : *3.
Collections techniques : *23.
Commerce extérieur (*Poudres de*) : prix de vente, *70, *104.
Commission de réception des poudres de la marine : création, *28.
Commission des substances explosives : Rapport n° 1 sur les tubes et cordeaux détonants, 36; — Rapport n° 15, essais de tubes détonants fabriqués par la poudrerie du Moulin-Blanc, nouveaux procédés d'amorçage, 100; — Rapport n° 3

sur l'emploi du coton-poudre sec pour les opérations de guerre, 168; — Rapport n° 28, recherche d'un nouvel explosif pour les usages militaires, 174; — Comptes rendus des travaux (1883-1888).

Commission des substances explosives, sous-commission spéciale : Rapport n° 55, étude des questions relatives à l'emploi des explosifs en présence du grisou, 355; — Rapport supplémentaire, 466.

COMPTES RENDUS DES TRAVAUX DE LA COMMISSION DES SUBSTANCES EXPLOSIVES (1883-1888) : 573.

CONDITIONS DE RÉCEPTION DU COTON-POUDRE FABRIQUÉ POUR LA MARINE : *87.

CONDITIONS DE RECETTE DES POUDRES A $\frac{13}{20}$: *69.

Conservation du coton-poudre comprimé : 184.

Cordeaux détonants : 36, 100.

Coton : nitrification, 212; — détermination du taux d'azote, 225.

Coton-poudre : emploi pour les opérations de guerre, 168; — conservation, 184; — explosion, *18; — conditions de réception, *87.

Coutagne : De l'emploi des explosifs en agriculture, 227.

CRÉATION D'UNE COMMISSION DE RÉCEPTION DES POUDRES DE LA MARINE : *28.

DE L'EMPLOI DES EXPLOSIFS EN AGRICULTURE [Coutagne] : 227.

Densité gravimétrique : mesure, *61.

Détente adiabatique d'un gaz : quantité de chaleur transformée en travail, 461.

DEUXIÈME NOTE SUR LA FABRICATION DES POUDRES A CANON A TRITURATION TRÈS RÉDUITE [Lambert et Barral] : 326.

DISPOSITIONS RELATIVES A LA DYNAMITE INDUSTRIELLE : *68.

Dynamite industrielle : réglementation, *68, *83, *86.

Emploi des explosifs : en agriculture, 227; — en présence du grisou, 355, 466.

Encartouchage : explosion d'un atelier, *7.

Équilibre chimique : systèmes gazeux homogènes, 337.

ESCORTE DES CONVOIS DE POUDRES, DE MUNITIONS DE GUERRE ET DE DYNAMITE DE L'ÉTAT, CIRCULANT SUR LES VOIES DE TERRE (7 mars 1882) : *5.

ÉTUDE DES PROPRIÉTÉS EXPLOSIVES DU FULMINATE DE MERCURE [Berthelot et Vieille] : 3.

ÉTUDE SUR LE MODE DE DÉCOMPOSITION DE QUELQUES EXPLOSIFS [Sarrau et Vieille] : 126.

EXPÉRIENCES SUR LE TIR DES FUSILS DE CHASSE [capitaine Journée] : 519.

EXPLOSIONS : atelier d'encartouchage de Paulilles (24 janvier 1882), *7; — coton-poudre paraffiné au Pont-de-Buis (24 avril 1881), *18; — usine à meules du Ripault (29 octobre 1881), *33; — usine à meules de Vonges (29 novembre 1881), *37; — usine à meules d'Angoulême (13 décembre 1881), *41; — usines de Saint-Chamas (18 février 1882), *45; — grenoir à retour du Ripault (22 avril 1882), *56; — usine à meules de Vonges (20 août 1882), *63.

FABRICATION DES POUDRES A CANON A TRITURATION RÉDUITE : *78.

Fabrication du salpêtre : Bordeaux, 316.

FIXATION ANNUELLE DU PRIX DE VENTE DES POUDRES DE COMMERCE EXTÉRIEUR : *104.

Force des explosifs : calcul, 442.

Fulminate de mercure : 3.

Fusil (Poudres à) : densité gravimétrique, *61.
Fusils de chasse : tir, 519.

Grenage : moules en caoutchouc, 186.
Grenoir à retour : explosion, *45, *56.
Grisou : emploi des explosifs, 355, 466.

Hagron et Bruley : Note sur l'emploi des moules en caoutchouc pour le grenage des poudres, 186.
Hydrocellulose : 21.

INFLAMMATION : de charbon à Sevran-Livry (21 janvier 1881), *16; — de bois pyroxylé au Moulin-Blanc (8 avril 1882), *53.

Journée (capitaine) : Expériences sur le tir des fusils de chasse, 519.

Lambert (H.) : Rapport sommaire sur l'étude des poudres au picrate d'ammoniaque, 15; — v. Lambert et Barral.
Lambert et Barral : Deuxième note sur la fabrication des poudres à canon à trituration très réduite, 326.
Léauté : Note sur un phénomène mécanique observé à la poudrerie de Saint-Médard, 346; — v. Bérard et Léauté.
Le Chatelier : v. Mallard et Le Chatelier.

Mallard et Le Chatelier : Note théorique sur le calcul des températures de détonation et la force des explosifs, 442; — Sur la quantité de chaleur qui peut être transformée en travail par la détente adiabatique d'un gaz, 461.
Maurouard : Notice historique sur la poudrerie Philippe-Auguste [Siège de Paris, 1870-1871], 107.
MESURE DES DENSITÉS GRAVIMÉTRIQUES DES POUDRES A FUSIL : *61.
Meules : explosion, *33, *37, *41, *63.
MISE EN VENTE DES POUDRES DE CHASSE PYROXYLÉES : *24.
Mode de décomposition de quelques explosifs : 126.
Moules en caoutchouc : emploi pour le grenage des poudres, 186.
Moulin-Blanc (Le) : inflammation de bois pyroxylé, *53.

Nitrification du coton : 212; — détermination du taux d'azote, 225.
NOTE RELATIVE A L'INFLUENCE DU RAPPROCHEMENT MOLÉCULAIRE SUR L'ÉQUILIBRE CHIMIQUE DE SYSTÈMES GAZEUX HOMOGÈNES [Sarrau et Vieille] : 337.
NOTE SUR LA DÉTERMINATION DU TAUX D'AZOTE PAR LE PROCÉDÉ SCHLŒSING : 225.
NOTE SUR L'EMPLOI DES MOULES EN CAOUTCHOUC POUR LE GRENAGE DES POUDRES [Hagron et Bruley] : 186.
NOTE SUR LES POUDRES A TRITURATION TRÈS RÉDUITE : *22.
NOTE SUR LES TRANSMISSIONS PAR CABLE TÉLÉDYNAMIQUE CONTINU [Bérard] : 341.
NOTE SUR L'HYDROCELLULOSE ET SUR LE COMPOSÉ NITRÉ QUI EN DÉRIVE [Vieille] : 21.
NOTE SUR UN PHÉNOMÈNE MÉCANIQUE OBSERVÉ A LA POUDRERIE DE SAINT-MÉDARD [Léauté] : 346.
NOTE THÉORIQUE SUR LE CALCUL DES TEMPÉRATURES DE DÉTONATION ET LA FORCE DES EXPLOSIFS [Mallard et Le Chatelier] : 442.
NOTICE HISTORIQUE SUR LA POUDRERIE PHILIPPE-AUGUSTE (SIÈGE DE PARIS, 1870-1871) [Maurouard] : 107.

NOUVELLE COMPOSITION DES CAISSES A POUDRE DE CHASSE (11 avril 1882) : *6.
OBSERVATIONS FAITES AU DÉPARTEMENT DE LA MARINE SUR LA CONSERVATION DU COTON-POUDRE COMPRIMÉ FABRIQUÉ PAR LE PROCÉDÉ ABEL : 184.
Opérations de guerre : explosifs, 168, 174.
ORGANISATION DE COLLECTIONS TECHNIQUES DANS LES ETABLISSEMENTS : *23.

Paulilles : explosion, *7.
Philippe-Auguste : poudrerie, 107.
Picrate d'ammoniaque : 15.
Pont-de-Buis : explosion, *18.
Poudres à canon : trituration réduite, 326, *22, *78; — conditions de recette des poudres A $\frac{13}{20}$, *69.
Poudres à fusil : densité gravimétrique, *61.
Poudres au picrate d'ammoniaque : 15.
Poudres de chasse pyroxylées : mise en vente, *24.
Poudres de commerce extérieur : prix de vente, *70, *104.
Prix de vente : poudres de commerce extérieur, *70, *104.
Procédé Schlœsing : détermination du taux d'azote, 225.
Pyroxylées (*Poudres de chasse*) : mise en vente, *24.

Quantité de chaleur : transformée en travail par la détente adiabatique d'un gaz, 461.

Raffinage du salpêtre : Bordeaux, 316.
Raffinerie de Bordeaux : 316.
RAPPORT N° 1 SUR LES TUBES ET CORDEAUX DÉTONANTS [Commission des substances explosives] : 36.
RAPPORT N° 3 SUR L'EMPLOI DU COTON-POUDRE SEC POUR LES OPÉRATIONS DE GUERRE [Commission des substances explosives] : 168.
RAPPORT N° 15, ESSAIS DE TUBES DÉTONANTS FABRIQUÉS PAR LA POUDRERIE DU MOULIN-BLANC, NOUVEAUX PROCÉDÉS D'AMORÇAGE [Commission des substances explosives] : 100.
RAPPORT N° 28, RECHERCHE D'UN NOUVEL EXPLOSIF POUR LES USAGES MILITAIRES [Commission des substances explosives] : 174.
RAPPORT N° 55 ET RAPPORT SUPPLÉMENTAIRE SUR L'ÉTUDE DES QUESTIONS RELATIVES A L'EMPLOI DES EXPLOSIFS EN PRÉSENCE DU GRISOU [Commission des substances explosives, sous-commission spéciale] : 355, 466.
RAPPORT SOMMAIRE SUR L'ÉTUDE DES POUDRES AU PICRATE D'AMMONIAQUE [H. Lambert] : 15.
RAPPORT SUR LES PROCÉDÉS ACTUELS DE RAFFINAGE ET DE FABRICATION DU SALPÊTRE A LA RAFFINERIE DE BORDEAUX [Biffe] : 316.
RAPPORT SUR L'ÉTUDE DES PROPRIÉTÉS DU SULFURE D'AZOTE [Berthelot et Vieille] : 10.
Rapprochement moléculaire : systèmes gazeux homogènes, 337.
RECHERCHES SUR LA NITRIFICATION DU COTON [Vieille] : 212.
Régulateurs à action indirecte : accroissements momentanés de vitesse, 242.
Ripault (*Le*) : explosions, *33, *56.

Saint-Chamas : explosion. *45.
Salpêtre : raffinage et fabrication à Bordeaux, 316

Sarrau et Vieille : Étude sur le mode de décomposition de quelques explosifs, 126; — Note relative à l'influence du rapprochement moléculaire sur l'équilibre chimique de systèmes gazeux homogènes, 337.
Sevran-Livry : inflammation de charbon, *16.
Société française de tempérance : Circulaire, *3.
Sulfure d'azote : 10.
SUR LA QUANTITÉ DE CHALEUR QUI PEUT ÊTRE TRANSFORMÉE EN TRAVAIL PAR LA DÉTENTE ADIABATIQUE D'UN GAZ [Mallard et Le Chatelier] : 461.
SUR LES MOYENS DE RÉDUIRE LES ACCROISSEMENTS MOMENTANÉS DE VITESSE DANS LES MACHINES MUNIES DE RÉGULATEURS A ACTION INDIRECTE, APPLICATION AUX USINES A POUDRE [Bérard et Léauté] : 242.
Systèmes gazeux homogènes : 337.

Tableau résumé des expériences faites à la poudrerie de Sevran-Livry (*Grisou*) : novembre 1887-juin 1888, 428; — juin-octobre 1888, 507.
Taux d'azote : détermination par le procédé Schlœsing, 225.
Températures de détonation : calcul, 442.
Tir des fusils de chasse : 519.
Tonne-grenoir : explosion, *45.
Transmissions par câble télédynamique continu : 341, 346.
Transport de la dynamite, *83, *86.
TRANSPORT DE LA DYNAMITE PAR CHEMINS DE FER : *86.
Trituration réduite : poudres à canon, 326, *22, *78.
Tubes détonants : 36, 100.

VENTE ET TRANSPORT DE LA DYNAMITE : *83.
Vieille : Note sur l'hydrocellulose et sur le composé nitré qui en dérive, 21; — Recherches sur la nitrification du coton, 212; — v. Berthelot et Vieille, Sarrau et Vieille.
Vonges : explosions, *37, *63.

8985. Paris. — Imprimerie GAUTHIER-VILLARS ET FILS, quai des Grands-Augustins, 55.